

**УТВЕРЖДЕНО**  
решением Ученого совета ИФФВТ  
от 18 мая 2021 г. протокол № 10  
Председатель \_\_\_\_\_ (Рыбин В.В.)  
(подпись, расшифровка подписи)



### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

|            |   |
|------------|---|
| Дисциплина | <b>МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА</b>                   |
| Факультет  | Инженерно-физический факультет высоких технологий |
| Кафедра    | Радиофизики и электроники (РФЭ)                   |
| Курс       | 4   |

Направление (специальность) 03.03.03 "Радиофизика",  
код направления (специальности), полное наименование

Направленность (профиль/специализация) Нанoeлектроника

полное наименование

Форма

обучения очная

очная, заочная, очно-заочная (указать только те, которые реализуются)

Дата введения в учебный процесс УлГУ:

« 01 » сентября 2021 г.

Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № 1 от 29.08 2022 г.

Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 г.

Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20 г.

Сведения о разработчиках:

| ФИО                       | Кафедра                   | Должность,<br>ученая степень, звание |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Гурин Нектарий Тимофеевич | Радиофизики и электроники | Зав.кафедрой, д.ф.-м.н., профессор   |

СОГЛАСОВАНО

Заведующий выпускающей кафедрой

/ Гурин Н.Г./

Подпись ФИО

« 11 » 05 2021 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ:

**Целью освоения дисциплины** является подготовка радиофизика к деятельности по разработке и исследованию одного из важнейших компонентов современной электроники - интегральных микросхем, а также новых функциональных микро- и нанолетронных элементов и компонентов электроники.

**Основными задачами изучения** дисциплины являются:

- изучение принципов и методов создания и функционирования ИС различного назначения, конструкции элементов ИС, топологии ИС, оценки надежности ИС;
- ознакомление студента с достижениями и перспективными направлениями развития микроэлектроники, проблемами качества интегральных схем, областями их применения;
- формирование у студента навыков контроля параметров физической структуры и топологии ИС и ее элементов, электрических параметров ИС и ее элементов;
- формирование представлений о фундаментальных и конструкторско-технологических ограничениях в микро- и нанолетронике;
- подготовка студентов к освоению последующих спецкурсов, выполнению курсового проекта, дипломной работы.

### 1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП:

Дисциплина «Микро- и нанолетроника» (Б1.0.38) относится к обязательной части основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) бакалавров по направлению 03.03.03 «Радиофизика», преподается в 7-м семестре 4-ого курса бакалаврам очной формы обучения после завершения общего курса и базируется на следующих предшествующих учебных дисциплинах

|   |
|---|
| Механика  |
| Химия   |
| Математический анализ                                 |
| Аналитическая геометрия и линейная алгебра            |
| Начертательная геометрия                              |
| История развития технологий                           |
| История мировых открытий в области науки и техники    |
| Молекулярная физика и термодинамика                   |
| Введение в специальность                              |
| Информатика   |
| Инженерная графика                                    |
| Ознакомительная практика                              |
| Численные методы и математическое моделирование       |
| Электричество и магнетизм                             |
| Дифференциальные и интегральные уравнения             |
| Университетский курс                                  |
| Информационные технологии управления                  |
| Теория колебаний                                      |
| Метрология, стандартизация и сертификация             |
| Электротехника и электроника                          |
| Колебания и волны, оптика                             |
| Теория вероятностей и математическая статистика       |
| Технологическая (проектно-технологическая) практика   |
| Основы компьютерного проектирования и конструирования |
| Материаловедение наноматериалов и наносистем          |
| Нанометрология  |

|   |
|---|
| Атомная и ядерная физика  |
| Сопротивление материалов  |
| Радиоэлектроника  |
| Испытания изделий   |
| Физика конденсированного состояния вещества   |
| Физико-химические основы нанотехнологий   |
| Полупроводниковая электроника   |
| Методы диагностики в нанотехнологиях  |
| Основы электро- и радиоизмерений  |
| Распространение электромагнитных волн в однородных, периодических и наноструктурах            |
| Высоковакуумные технологические процессы в наноинженерии                                      |
| Физика активных элементов   |
| Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы) |
| Физика полупроводников  |
| Микро- и наносхемотехника   |

Для освоения дисциплины студент должен иметь следующие входные знания, умения, навыки и компетенции, полученные в рамках изучения предшествующих дисциплин: базовые знания, умения, навыки в области общей и теоретической физики и радиофизики; базовые знания, умения, навыки в области общей и теоретической физики и радиофизики, необходимые для получения компетенций:

**ПК-3** - Использование методик комплексного анализа структуры и физико-химических свойств полупроводниковых наноструктур.

**ПК-4** - Проведение испытаний полупроводниковых наноструктур на измерительном оборудовании с целью выявления функциональных свойств и контроля качества

Данная дисциплина является предшествующей для следующих дисциплин:

|   |
|---|
| Методы и средства измерений и контроля  |
| Квантовая электроника   |
| Интегральная и волоконная оптика  |
| Диагностика полупроводниковых структур  |
| Практикум по электронике  |
| Оптоэлектронные устройства  |
| Моделирование микро- и наносистем   |
| СВЧ полупроводниковые приборы и методы автоматизированного контроля электропараметров СВЧ-модулей |
| Физические основы технологии полупроводниковых приборов и интегральных микросхем                  |
| Композиционные материалы. Металломатричные, с полимерной матрицей.                                |
| Статистическая радиофизика и нанооптика   |
| Электродинамика СВЧ   |
| Технологические системы в нанотехнологиях   |
| Конструкции гибридных интегральных схем и микросборок   |
| Преддипломная практика  |
| Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена  |
| Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы                          |

## 2. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОСНОВНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

*Перечень формируемых компетенций в процессе освоения материала по дисциплине (модулю) с указанием кода и наименования компетенций, соотнесенных с установленными разработчиком РПД индикаторами достижения каждой компетенции отдельно в соответствии с ФГОС ВПО, ФГОС ВО.*

| <i>Код и наименование профессиональной компетенции выпускника</i>  | <i>Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения профессиональной компетенции</i>  |
|--|---|
| <p>ПК-3<br/>Использование методик комплексного анализа структуры и физико-химических свойств полупроводниковых наноструктур</p>                                | <p>ИД-1пк3<br/>Знать принципы работы современной радиоэлектронной измерительной и испытательной аппаратуры и оборудования для проведения испытаний полупроводниковых наноструктур</p> <p>ИД-2пк3<br/>Уметь проводить испытания полупроводниковых наноструктур с использованием современной техники электро- и радиоизмерений по существующим методикам</p> <p>ИД-3пк3<br/>Владеть приемами и навыками эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования для испытаний полупроводниковых наноструктур</p> |
| <p>ПК-4<br/>Проведение испытаний полупроводниковых наноструктур на измерительном оборудовании с целью выявления функциональных свойств и контроля качества</p> | <p>ИД-1пк4<br/>Знать основные методы радиофизических измерений и испытаний полупроводниковых наноструктур</p> <p>ИД-2пк4<br/>Уметь использовать и модернизировать основные методы радиофизических измерений и испытаний полупроводниковых наноструктур</p> <p>ИД-3пк4<br/>Владеть навыками эксплуатации радиофизических приборов и оборудования для испытания полупроводниковых наноструктур</p>  |

## 3. ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах (всего)   4



|  |    |   | занятия,<br>семинары | работы,пр<br>актикумы | актив<br>ной<br>форме | ная<br>работа           | знаний   |
|--|----|---|----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|--|
| 1  | 2  | 3 | 4                    | 5                     | 6                     | 7                       |  |
| <i>Раздел 1. . Введение</i>  |    |   |                      |                       |                       |                         |  |
| 1. Основные этапы и тенденции развития электроники .   | 3  | 1 |                      |                       |                       | 2(в т.ч. контроль 1)    | Устный опрос.  |
| 2. Классификация ИС. Виды технологии ИС.   | 2  | 1 |                      |                       |                       | 1( в т.ч. контроль 0,5) | Устный опрос.  |
| <i>Раздел 2. . Конструкции и технологии полупроводниковых ИС</i>                                   |    |   |                      |                       |                       |                         |  |
| 1. Основные технологические этапы производства полупроводниковых ИС.                               | 12 | 6 |                      |                       |                       | 6 (в т.ч. контроль 3)   | Устный опрос.  |
| 2.Методы изоляции элементов ИС..   | 6  | 2 |                      |                       |                       | 4 (в т.ч. контроль 2)   | Устный опрос.  |
| 3. Принципы действия и конструкции биполярных транзисторов, диодов, конденсаторов и резисторов ИС. | 32 | 2 |                      | 20                    | 6                     | 10(в т.ч. контроль 5)   | Устный опрос.<br>Устный опрос-допуск к выполнению лабораторных работ.<br>Защита отчетов по лабораторным работам. |
| 4. Принципы действия и конструкции полевых транзисторов с управляющим p-n переходом,               | 22 | 2 |                      | 8                     | 3                     | 12(в т.ч. контроль 6)   | Устный опрос. Устный опрос-допуск к выполнению   |

|  |    |   |  |   |   |                              |   |
|--|----|---|--|---|---|------------------------------|---|
| МДП, КМДП<br>транзисторов.   |    |   |  |   |   |                              | ию<br>лаборато<br>рных<br>работ.<br>Защита<br>отчетов<br>по<br>лаборато<br>рным<br>работам.       |
| <i>Раздел 3. Тонкопленочная технология ИС</i>  |    |   |  |   |   |                              |   |
| 1. Основные<br>методы<br>тонкопленочно<br>й технологии.<br>Вакуумтермич<br>еское<br>испарение. | 10 | 4 |  |   |   | 6(в т.ч.<br>контроль<br>3)   | Устный<br>опрос.  |
| 2. Ионное<br>распыление.   | 3  | 2 |  |   |   | 1(в т.ч.<br>контроль<br>0,5) | Устный<br>опрос.  |
| 3. Химическое<br>осаждение.  | 2  | 1 |  |   |   | 1(в т.ч.<br>контроль<br>0,5) | Устный<br>опрос.  |
| 4. Электролитиче<br>ское<br>наращивание.<br>Анодирование.                                      | 2  | 1 |  |   |   | 1(в т.ч.<br>контроль<br>0,5) | Устный<br>опрос.  |
| 5. Методы<br>оформления<br>контуров<br>элементов<br>тонкопленочн<br>ых ИС.                     | 8  | 2 |  |   |   | 6(в т.ч.<br>контроль<br>3)   | Устный<br>опрос.  |
| 6. Конструкции<br>тонкопленочн<br>ых (пленочных<br>и гибридных)<br>ИС.                         | 16 | 2 |  | 4 | 2 | 10(в т.ч.<br>контроль<br>5)  | Устный<br>опрос. Уст<br>ный<br>опрос-<br>допуск к<br>выполнен<br>ию<br>лаборато<br>рных<br>работ. |

|   |     |     |  |   |     |                        |  |
|---|-----|-----|--|---|-----|------------------------|--|
|   |     |     |  |   |     |                        | Защита отчетов по лабораторным работам.  |
| <b>Раздел 4. Толсто пленочная технология ИС.</b>                                  |     |     |  |   |     |                        |  |
| 1. Конструкции толсто пленочных ИС.   | 2   | 1   |  |   |     | 1(в т.ч. контроль 0,5) | Устный опрос.  |
| 2. Основные технологические операции в производстве толсто пленочных ИС.          | 2   | 1   |  |   |     | 1(в т.ч. контроль 0,5) | Устный опрос.  |
| <b>Раздел 5. Монтаж и сборка ИС.</b>  |     |     |  |   |     |                        |  |
| 1.Монтаж активных элементов, крепление подложек и кристаллов к основанию корпуса. | 3,5 | 0,5 |  | 2 | 0,5 | 1(в т.ч. контроль 0,5) | Устный опрос. Устный опрос-допуск к выполнению лабораторных работ. Защита отчетов по лабораторным работам. |
| 2. Присоединение выводов.   | 1,5 | 0,5 |  |   |     | 1(в т.ч. контроль 0,5) | Устный опрос.  |
| <b>Раздел.6. Герметизация ИС.</b>   |     |     |  |   |     |                        |  |
| 1. Конструкции корпусов ИС.   | 1,5 | 0,5 |  |   |     | 1(в т.ч. контроль 0,5) | Устный опрос.  |
| 2. Герметизация ИС. Контроль герметичности корпусов.                              | 3,5 | 0,5 |  | 2 | 0,5 | 1(в т.ч. контроль 0,5) | Устный опрос. Устный опрос-допуск к  |

|   |   |   |  |  |  |                        |  |
|---|---|---|--|--|--|------------------------|--|
|   |   |   |  |  |  |                        | выполнению лабораторных работ. Защита отчетов по лабораторным работам. |
| <b>Раздел 7. Качество и надежность микроэлектронных устройств.</b>  |   |   |  |  |  |                        |  |
| 1. Качество ИС. Надежность и ее свойства.   | 2 | 1 |  |  |  | 1(в т.ч. контроль 0,5) |  |
| 2. Виды и механизмы отказа ИС. Контроль и оценка качества ИС.   | 2 | 1 |  |  |  | 1(в т.ч. контроль 0,5) | Устный опрос.  |
| <b>Раздел 8. Пределы микроэлектроники. Нанозлектроника.</b>   |   |   |  |  |  |                        |  |
| 1. Физические и конструктивно-технологические пределы и ограничения интегральной микроэлектроники. Нанозлектроника. | 2 | 1 |  |  |  | 1(в т.ч. контроль 0,5) | Устный опрос.  |
| <b>Раздел 9. Функциональная микро- и нанозлектроника.</b>   |   |   |  |  |  |                        |  |
| 1. Обработка, передача и хранение информации на основе интеграции физических эффектов.                              | 2 | 1 |  |  |  | 1(в т.ч. контроль 0,5) | Устный опрос.  |
| 2. Оптоэлектроника.   | 2 | 1 |  |  |  | 1(в т.ч. контроль 0,5) | Устный опрос.  |
| 3. Акустоэлектроника,   | 2 | 1 |  |  |  | 1(в т.ч. контроль 0,5) | Устный опрос.  |

|                     |     |    |  |    |           |                        |  |
|---------------------|-----|----|--|----|-----------|------------------------|--|
| магнитоэлектроника. |     |    |  |    |           |                        |  |
| Всего               | 144 | 36 |  | 36 |           | 72(в т.ч. контроль 36) |  |
| Итого               | 144 | 36 |  | 36 | 12 в т.ч. | 72                     |  |

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

##### Раздел 1. Введение

1. Основные этапы и тенденции развития электроники как материальной основы технических систем обработки, передачи и хранения информации. Микро- и наноэлектроника. Интегральная и функциональная микро- и наноэлектроника. Терминология микроэлектроники.
2. Классификация ИС по конструктивно-технологическим признакам степени интеграции и функциональной сложности, функциональному назначению. Виды технологии ИС.

##### Раздел 2. Полупроводниковая планарная технология ИС.

1. Основные технологические этапы производства полупроводниковых ИС. Обработка полупроводниковых материалов. Маскирующие и изолирующие пленки. Фото- и опто- литография. Электролитография, ионная литография, рентгенолитография. Диффузия. Эпитаксия. Ионное легирование. Контроль параметров слоев. Металлизация.
2. Методы изоляции элементов. Методы диодной изоляции. Методы диэлектрической изоляции. Комбинированные методы изоляции.
3. Принципы действия и конструкции биполярных транзисторов, диодов, конденсаторов и резисторов ИС.
4. Принципы действия и конструкции полевых транзисторов с управляющим p-n переходом, МДП, КМДП транзисторов.

##### Раздел 3. Тонкопленочная технология ИС

1. Основные методы тонкопленочной технологии. Вакуумтермическое испарение. Основные этапы. Методы формирования потока пара вещества. Состав и структура вакуумных напылительных установок. Методы получения вакуума. Вакуумные насосы. Вакуумные ловушки. Методы измерения вакуума.
2. Ионное распыление. Катодное, ионноплазменное, ВЧ-плазменное распыление, плазменное анодирование.
3. Химическое осаждение. Осаждение из газовой фазы, из растворов.
4. Электролитическое наращивание. Анодирование.
5. Методы оформления контуров элементов тонкопленочных ИС.
6. Конструкции тонкопленочных (пленочных и гибридных) ИС. Конструкции пленочных пассивных элементов. Навесные компоненты.

##### Раздел 4. Толстопленочная технология ИС.

1. Конструкции толстопленочных ИС. Конструкции пассивных элементов. Подложки, пасты, трафареты.
2. Основные технологические операции в производстве толстопленочных ИС.

##### Раздел 5. Монтаж и сборка ИС.

1. Монтаж активных элементов, крепление подложек и кристаллов к основанию корпуса.

2. Присоединение выводов.

#### **Раздел 6. Герметизация ИС.**

1. Конструкции корпусов ИС.
2. Герметизация ИС. Контроль герметичности корпусов.

#### **Раздел 7. Качество и надежность микроэлектронных устройств.**

1. Качество ИС. Определение качества, показатели качества. Надежность и ее свойства. Показатели надежности.
2. Виды и механизмы отказа ИС. Контроль и оценка качества ИС. Виды и методы контроля качества.

#### **Раздел 8. Пределы микроэлектроники. Нанoeлектроника.**

1. Физические и конструктивно-технологические пределы и ограничения интегральной микроэлектроники. Нанoeлектроника.

#### **Раздел 9. Функциональная микро- и нанoeлектроника.**

1. Обработка, передача и хранение информации на основе интеграции физических эффектов.
2. Оптоэлектроника.
3. Акустоэлектроника, магнитоэлектроника.

### **5. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ И СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ**

*Данный вид работы не предусмотрен УП.*

### **6. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ, ПРАКТИКУМЫ**

**Лабораторные работы. (Приложение – учебно-методическая литература 1, 2)**

#### **Раздел 2. Полупроводниковая планарная технология ИС.**

Тема 3. Принципы действия и конструкции биполярных транзисторов, диодов, конденсаторов и резисторов ИС.

**Лабораторная работа №2. Изучение полупроводникового диода.**

**Лабораторная работа №3. Температурная зависимость параметров р-п-переходов.**

**Лабораторная работа №4. Изучение работы транзистора в схеме с общей базой.**

**Лабораторная работа № 5. Вольт-амперные характеристики транзистора в схеме с общим эмиттером.**

**Лабораторная работа № 2.1. Изучение конструкций полупроводниковых интегральных микросхем.**

Тема 4. Принципы действия и конструкции полевых транзисторов с управляющим р-п переходом, МДП, КМДП транзисторов.

**Лабораторная работа № 6. Характеристики и параметры полевых транзисторов с управляющим р-п-переходом.**

**Лабораторная работа №7. МДП транзистор.**

#### **Раздел 3. Тонкопленочная технология ИС**

Тема 6. Конструкции тонкопленочных (пленочных и гибридных) ИС.

**Лабораторная работа №2.2. Изучение конструкций гибридных**

**интегральных микросхем.**

*Раздел 5. Монтаж и сборка ИС.*

Тема 1. Монтаж активных элементов, крепление подложек и кристаллов к основанию корпуса

*Раздел 6. Герметизация ИС*

Тема 2. Герметизация ИС. Контроль герметичности корпусов.

**Лабораторная работа №2.3. . Изучение методов сборки и герметизации микросхем.**

## **7. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ, КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ, РЕФЕРАТОВ**

Не предусмотрены учебным планом

### **9. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ (ЗАЧЕТУ)**

#### **Вопросы к экзамену**

1. Основные этапы и тенденции развития электроники. Микро- и нанoeлектроника. Интегральная и функциональная микро- и нанoeлектроника.
2. Терминология микроэлектроники.
3. Классификация ИС по конструктивно-технологическим признакам степени интеграции, функциональной сложности и назначению.
4. Виды технологии ИС.
5. Основные технологические этапы производства полупроводниковых ИС.
6. Механическая обработка полупроводниковых материалов.
7. Химическая, электро-, плазмо- химическая, ионная обработка полупроводниковых материалов.
8. Маскирующие и изолирующие пленки.
9. Оптолитография.
10. Электроно- и рентгенолитография, ионная литография.
11. Диффузия.
12. Эпитаксия.
13. Ионное легирование.
14. Контроль параметров диффузионных слоев.
15. Металлизация полупроводниковых ИС.
16. Методы изоляции элементов полупроводниковых ИС диффузионными областями.
17. Методы диэлектрической изоляции элементов полупроводниковых ИС.
18. Комбинированные методы изоляции элементов полупроводниковых ИС.
19. Принципы действия, конструкции и свойства интегральных биполярных транзисторов.
20. Конструкции и свойства интегральных диодов.
21. Принципы действия, конструкции и свойства интегральных полевых транзисторов.
22. Конструкции конденсаторов полупроводниковых ИС.
23. Конструкции резисторов полупроводниковых ИС.
24. Основные методы тонкопленочной технологии.
25. Вакуумтермическое испарение.
26. Принцип работы и структура вакуумных напылительных установок.
27. Способы получения вакуума. Форвакуумные насосы.
28. Высоко- и сверхвысоковакуумные насосы.
29. Способы измерения вакуума.
30. Контроль параметров тонких пленок.
31. Методы ионного распыления. Катодное и реактивное катодное распыление. Магнетронное распыление.
32. Ионно-плазменное, ВЧ-плазменное распыление. Плазменное анодирование.

33. Химические и электрохимические методы получения пленок.
34. Методы оформления контуров элементов тонкопленочных ГИС.
35. Конструкции тонкопленочных (гибридных и пленочных) ИС. Подложки ГИС.
36. Конструкции тонкопленочных конденсаторов.
37. Конструкции тонкопленочных резисторов.
38. Конструкции тонкопленочных индуктивностей. Навесные компоненты ГИС.
39. Конструкции толстопленочных ИС.
40. Подложки, пасты, трафареты толстопленочных ИС.
41. Основные технологические операции в производстве толстопленочных ИС.
42. Методы монтажа кристаллов и плат на основании корпуса.
43. Методы присоединения выводов.
44. Конструкции корпусов ИС. Герметизация ИС.
45. Контроль герметичности корпусов.
46. Качество и надежность ИС. Показатели качества и надежности.
47. Виды и механизмы отказов ИС. Контроль ИС.
48. Физические и конструктивно-технологические пределы и ограничения интегральной микроэлектроники. Нанозлектроника.
49. Функциональная микро- и нанозлектроника. Приборы с зарядовой связью.
50. Оптоэлектроника.
51. Акустоэлектроника, магнитоэлектроника.

## **8. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩИХСЯ**

По данной дисциплине организуется и проводится внеаудиторная самостоятельная работа.

Самостоятельная работа студентов, предусмотренная учебным планом в объеме 108 часов (не менее 50-70% общего количества часов – 180 часов), должна соответствовать более глубокому усвоению изучаемого курса, формировать навыки исследовательской работы и ориентировать студентов на умение применять теоретические знания на практике.

Самостоятельная работа по данной дисциплине состоит из следующих модулей:

- подготовка к лабораторным занятиям;
- подготовка к экзамену;

При подготовке к лабораторным занятиям подготовке и контрольным мероприятиям рекомендуется руководствоваться учебниками и учебными пособиями, в том числе и информацией, полученной в Internet, а также методическими указаниями для выполнения лабораторных работ. Необходимо также использовать монографии, статьи из периодических изданий и иные научные публикации..

Студентам рекомендуется следующий порядок организации самостоятельной работы над темами и подготовки к практическим занятиям:

- ознакомиться с содержанием темы;
- прочитать материал лекций, при этом нужно составить себе общее представление об излагаемых вопросах;
- прочитать параграфы учебника, относящиеся к данной теме;
- перейти к тщательному изучению материала, усвоить теоретические положения и выводы, при этом нужно записывать основные положения темы (формулировки, определения, термины, воспроизводить отдельные схемы и чертежи из учебника и конспекта лекций), на основании методических указаний для выполнения лабораторных работ и полученных практических результатов выполнения данных работ подготовить отчеты о выполнении лабораторных работ и подготовиться к защите указанных отчетов.

| Название разделов и тем  | Вид самостоятельной работы<br>(проработка учебного материала, решение задач, реферат, доклад, контрольная работа, подготовка к сдаче зачета, экзамена и др.) | Объем в часах | Форма контроля<br>(проверка решения задач, реферата и др.)   |
|--|--|---------------|--|
| <b>Раздел 1. Введение</b>  |  |               |  |
| 1. Основные этапы и тенденции развития электроники   | <i>проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена и</i>  | 1             | Устный опрос.  |
| 2. Классификация ИС. Виды технологии ИС.   | <i>проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена и</i>  | 0,5           | Устный опрос.  |
| <b>Раздел 2. Конструкции и технологии полупроводниковых ИС</b>   |  |               |  |
| 1. Основные технологические этапы производства полупроводниковых ИС.   | <i>проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена и</i>  | 3             | Устный опрос.  |
| 2. Методы изоляции элементов ИС..  | <i>проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена и</i>  | 2             | Устный опрос.  |
| 3. Принципы действия и конструкции биполярных транзисторов, диодов, конденсаторов и резисторов ИС.           | <i>проработка учебного материала, подготовка к лабораторным работам и сдаче экзамена</i>   | 5             | Устный опрос.<br>Устный опрос-допуск к выполнению лабораторных работ.<br>Защита отчетов по лабораторным работам. |
| 4. Принципы действия и конструкции полевых транзисторов с управляющим р-п переходом, МДП, КМДП транзисторов. | <i>проработка учебного материала, подготовка к лабораторным работам и сдаче экзамена</i>   | 6             | Устный опрос.<br>Устный опрос-допуск к выполнению лабораторных работ.<br>Защита отчетов по лабораторным работам. |
| <b>Раздел 3. Тонкопленочная технология</b>   |  |               |  |
| 1. Основные методы тонкопленочной технологии. Вакуумтермическое испарение.                                   | <i>проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена и</i>  | 3             | Устный опрос.  |
| 2. Ионное распыление.  | <i>проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена и</i>  | 0,5           | Устный опрос.  |

|  |  |     |  |
|--|--|-----|--|
| 3. Химическое осаждение.   | <i>проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена и</i>                      | 0,5 | Устный опрос.  |
| 4. Электролитическое наращивание. Анодирование                                     | <i>проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена и</i>                      | 0,5 | Устный опрос.  |
| 5. Методы оформления контуров элементов тонкопленочных ИС.                         | <i>проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена и</i>                      | 3   | Устный опрос.  |
| 6. Конструкции тонкопленочных (пленочных и гибридных) ИС.                          | <i>проработка учебного материала, подготовка к лабораторным работам и сдаче экзамена</i> | 5   | Устный опрос.<br>Устный опрос-допуск к выполнению лабораторных работ.<br>Защита отчетов по лабораторным работам. |
| <b>Раздел 4. Толстопленочная технология ИС.</b>                                    |  |     |  |
| 1. Конструкции толстопленочных ИС.   | <i>проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена и</i>                      | 0,5 | Устный опрос.  |
| 2. Основные технологические операции в производстве толстопленочных ИС.            | <i>проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена и</i>                      | 0,5 | Устный опрос.  |
| <b>Раздел 5. Монтаж и сборка ИС.</b>   |  |     |  |
| 1. Монтаж активных элементов, крепление подложек и кристаллов к основанию корпуса. | <i>проработка учебного материала, подготовка к лабораторным работам и сдаче экзамена</i> | 0,5 | Устный опрос.<br>Устный опрос-допуск к выполнению лабораторных работ.<br>Защита отчетов по лабораторным работам. |
| 2. Присоединение выводов.  | <i>проработка учебного материала, подготовка к лабораторным работам и сдаче экзамена</i> | 0,5 | Устный опрос.<br>Устный опрос-допуск к выполнению лабораторных работ.  |

|   |  |     |  |
|---|--|-----|--|
|   |  |     | Защита отчетов по лабораторным работам.  |
| <b>Раздел.6. Герметизация ИС.</b>   |  |     |  |
| 1. Конструкции корпусов ИС.   | <i>проработка учебного материала, подготовка к лабораторным работам и сдаче экзамена</i> | 0,5 | Устный опрос. Устный опрос-допуск к выполнению лабораторных работ. Защита отчетов по лабораторным работам. |
| 2. Герметизация ИС. Контроль герметичности корпусов.  | <i>проработка учебного материала, подготовка к лабораторным работам и сдаче экзамена</i> | 0,5 | Устный опрос. Устный опрос-допуск к выполнению лабораторных работ. Защита отчетов по лабораторным работам. |
| <b>Раздел.7. Качество и надежность микроэлектронных устройств.</b>  |  |     |  |
| 1. Качество ИС. Надежность и ее свойства.   | <i>проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена и</i>                      | 0,5 | Устный опрос.  |
| 2. Виды и механизмы отказа ИС. Контроль и оценка качества ИС.   | <i>проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена и</i>                      | 0,5 | Устный опрос.  |
| <b>Раздел 8. Пределы микроэлектроники. Нанoeлектроника.</b>   |  |     |  |
| 1. Физические и конструктивно-технологические пределы и ограничения интегральной микроэлектроники. Нанoeлектроника. | <i>проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена и</i>                      | 0,5 | Устный опрос.  |
| <b>Раздел 9. Функциональная микро- и нанoeлектроника.</b>   |  |     |  |
| 1. Обработка, передача и хранение информации на основе интеграции физических эффектов.                              | <i>проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена и</i>                      | 0,5 | Устный опрос.  |

|   |   |     |               |
|---|---|-----|---------------|
| 2. Оптоэлектроника.                       | <i>проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена и</i> | 0,5 | Устный опрос. |
| 3. Акустоэлектроника, магнитоэлектроника. | <i>проработка учебного материала, подготовка к сдаче экзамена и</i> | 0,5 | Устный опрос. |
| Всего часов                               |   | 36  |               |

## 10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) Список рекомендуемой литературы

#### основная литература

1. Щука, А. А. Нанoeлектроника : учебник для бакалавриата и магистратуры / А. А. Щука ; под общ. ред. А. С. Сигова. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 297 с. — (Серия : Бакалавр и магистр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-8280-0. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.biblio-online.ru/book/nanoelektronika-433847>

Плотников, Г. С. Микроэлектроника: основы молекулярной электроники : учеб. пособие для вузов / Г. С. Плотников, В. Б. Зайцев. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 166 с. — (Серия : Авторский учебник). — ISBN 978-5-534-03637-4. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.biblio-online.ru/book/mikroelektronika-osnovy-molekulyarnoy-elektroniki-438394>

2. Введение в микроэлектронику [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю. А. Гатчин, В. Л. Ткалич, А. С. Виволанцев, Е. А. Дудников. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2010. — 114 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/65811.html>

Лицензия: до 01.10.2022

3. Драгунов, В. П. Нанoeлектроника в 2 ч. Часть 1 : учеб. пособие для вузов / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 285 с. — (Серия : Университеты России). — ISBN 978-5-534-05170-4. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.biblio-online.ru/book/nanoelektronika-v-2-ch-chast-1-433632>

4. Драгунов, В. П. Нанoeлектроника в 2 ч. Часть 2 : учеб. пособие для вузов / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 235 с. — (Серия : Университеты России). — ISBN 978-5-534-05171-1. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.biblio-online.ru/bcode/438867>

#### дополнительная литература

1. Шарапов, А. В. Микроэлектроника [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. В. Шарапов. — Электрон. текстовые данные. — Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. — 138 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13948.html>

2. Драгунов, В. П. Нанoeлектроника в 2 ч. Часть 1 : учебное пособие для вузов / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 285 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-534-05170-4. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/433632>

3. Драгунов, В. П. Нанoeлектроника в 2 ч. Часть 2 : учебное пособие для вузов / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 235 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-534-05171-1. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/438867>



- 1.3. Консультант студента : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Политехресурс. – Москва, [2021]. – URL: <https://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.
- 1.4. Консультант врача : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Высшая школа организации и управления здравоохранением-Комплексный медицинский консалтинг. – Москва, [2021]. – URL: <https://www.rosmedlib.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.
- 1.5. Большая медицинская библиотека : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Букап. – Томск, [2021]. – URL: <https://www.books-up.ru/ru/library/> . – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.
- 1.6. Лань : электронно-библиотечная система : сайт / ООО ЭБС Лань. – Санкт-Петербург, [2021]. – URL: <https://e.lanbook.com>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.
- 1.7. Znanium.com : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Знаниум. - Москва, [2021]. - URL: <http://znanium.com> . – Режим доступа : для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.
- 1.8. Clinical Collection : коллекция для медицинских университетов, клиник, медицинских библиотек // EBSCOhost : [портал]. – URL: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/search/advanced?vid=1&sid=9f57a3e1-1191-414b-8763-e97828f9f7e1%40sessionmgr102> . – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.
- 1.9. Русский язык как иностранный : электронно-образовательный ресурс для иностранных студентов : сайт / ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа». – Саратов, [2021]. – URL: <https://ros-edu.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.
- 2. КонсультантПлюс** [Электронный ресурс]: справочная правовая система. /ООО «Консультант Плюс» - Электрон. дан. - Москва : КонсультантПлюс, [2021].
- 3. Базы данных периодических изданий:**
- 3.1. База данных периодических изданий : электронные журналы / ООО ИВИС. - Москва, [2021]. – URL: <https://dlib.eastview.com/browse/udb/12>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.
- 3.2. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека : сайт / ООО Научная Электронная Библиотека. – Москва, [2021]. – URL: <http://elibrary.ru>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный
- 3.3. «Grebennikov» : электронная библиотека / ИД Гребенников. – Москва, [2021]. – URL: <https://id2.action-media.ru/Personal/Products>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.
- 4. Национальная электронная библиотека** : электронная библиотека : федеральная государственная информационная система : сайт / Министерство культуры РФ ; РГБ. – Москва, [2021]. – URL: <https://нэб.рф>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.
- 5. SMART Imagebase** // EBSCOhost : [портал]. – URL: <https://ebsco.smartimagebase.com/?TOKEN=EBSCO-1a2ff8c55aa76d8229047223a7d6dc9c&custid=s6895741>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Изображение : электронные.
- 6. Федеральные информационно-образовательные порталы:**
- 6.1. Единое окно доступа к образовательным ресурсам : федеральный портал / учредитель ФГАОУ ДПО ЦРГОП и ИТ. – URL: <http://window.edu.ru/> . – Текст : электронный. 6.2. Российское образование : федеральный портал / учредитель ФГАОУ ДПО ЦРГОП и ИТ. – URL: <http://www.edu.ru>. – Текст : электронный.
- 7. Образовательные ресурсы УлГУ:**

7.1. Электронная библиотека УлГУ : модуль АБИС Mega-ПРО / ООО «Дата Экспресс». – URL: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Web>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.

Согласовано:

Техник / с.б. каб. | Бредурина И.С. | Гурин | / /  
Должность сотрудника УИТиТ ФИО Подпись дата

## 11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ:

Аудитории для проведения лекций, для выполнения лабораторных работ и для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации, курсового проектирования, групповых и индивидуальных консультаций.

Аудитории укомплектованы специализированной мебелью, учебной доской. Аудитории для проведения лекций оборудованы мультимедийным оборудованием для предоставления информации большой аудитории. Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде, электронно-библиотечной системе. Перечень оборудования, используемого в учебном процессе, указывается в соответствии со сведениями о материально-техническом обеспечении и оснащенности образовательного процесса, размещенными на официальном сайте УлГУ в разделе «Сведения об образовательной организации».

## 12. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

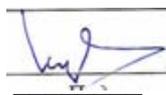
В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:

– для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации;

– для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации;

– для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

Разработчик



подпись

Зав.кафедрой радиофизики и электроники Гурин Н.Т.

должность ФИО

### ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ

в рабочую программу дисциплины «Микро- и наноэлектроника»

Направление (специальность): 03.03.03 «Радиофизика» (бакалавриат)

Направленность (профиль/специализация) Наноэлектроника

Форма обучения: очная

| № п/п | Содержание изменения или ссылка на прилагаемый текст | ФИО заведующего кафедрой, реализующей | Подпись | Дата |
|-------|--|---------------------------------------|---------|------|
|-------|--|---------------------------------------|---------|------|



## **1. Электронно-библиотечные системы:**

1.1. Цифровой образовательный ресурс IPRsmart : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа». - Саратов, [2022]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.2. Образовательная платформа ЮРАЙТ : образовательный ресурс, электронная библиотека : сайт / ООО Электронное издательство ЮРАЙТ. – Москва, [2022]. - URL: <https://urait.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.3. База данных «Электронная библиотека технического ВУЗа (ЭБС «Консультант студента») : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Политехресурс. – Москва, [2022]. – URL: <https://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.4. Консультант врача. Электронная медицинская библиотека : база данных : сайт / ООО Высшая школа организации и управления здравоохранением-Комплексный медицинский консалтинг. – Москва, [2022]. – URL: <https://www.rosmedlib.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.5. Большая медицинская библиотека : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Букап. – Томск, [2022]. – URL: <https://www.books-up.ru/ru/library/>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.6. ЭБС Лань : электронно-библиотечная система : сайт / ООО ЭБС Лань. – Санкт-Петербург, [2022]. – URL: <https://e.lanbook.com>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.7. ЭБС Znanium.com : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Знаниум. - Москва, [2022]. - URL: <http://znanium.com> . – Режим доступа : для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.8. Clinical Collection : научно-информационная база данных EBSCO // EBSCOhost : [портал]. – URL: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/search/advanced?vid=1&sid=9f57a3e1-1191-414b-8763-e97828f9f7e1%40sessionmgr102> . – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

1.9. База данных «Русский как иностранный» : электронно-образовательный ресурс для иностранных студентов : сайт / ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа». – Саратов, [2022]. – URL: <https://ros-edu.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

**2. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]: справочная правовая система. /ООО «Консультант Плюс» - Электрон. дан. - Москва : КонсультантПлюс, [2022].**

## **3. Базы данных периодических изданий:**

3.1. База данных периодических изданий EastView : электронные журналы / ООО ИВИС. - Москва, [2022]. – URL: <https://dlib.eastview.com/browse/udb/12>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

3.2. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека : сайт / ООО Научная Электронная Библиотека. – Москва, [2022]. – URL: <http://elibrary.ru>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный

3.3. Электронная библиотека «Издательского дома «Гребенников» (Grebinnikon) : электронная библиотека / ООО ИД Гребенников. – Москва, [2022]. – URL: <https://id2.action-media.ru/Personal/Products>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

**4. Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» : электронная библиотека : сайт / ФГБУ РГБ. – Москва, [2022]. – URL: <https://нэб.рф>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.**

**5. SMART Imagebase : научно-информационная база данных EBSCO // EBSCOhost : [портал]. – URL: <https://ebSCO.smartimagebase.com/?TOKEN=EBSCO-1a2ff8c55aa76d8229047223a7d6dc9c&custid=s6895741>. – Режим доступа : для авториз.**

