

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

**УТВЕРЖДАЮ**  
Декан факультета радиотехники  
и электроники  
\_\_\_\_\_ / В. А. Небольсин /  
25 ноября 2022 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины  
«Технология СБИС»**

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 мес.

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2023

Автор программы

\_\_\_\_\_  Т.Г. Меньшикова

И.о.заведующего кафедрой  
полупроводниковой электроники  
и наноэлектроники

\_\_\_\_\_  А.В. Строгонов

Руководитель ОПОП

\_\_\_\_\_  А.В. Арсентьев

**Воронеж 2022**

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Цели дисциплины:** дать представление студентам об основных технологических операциях СБИС.

**1.2. Задачи освоения дисциплины:** ознакомить студентов с основными технологическими маршрутами производства СБИС.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.В.09«Технология СБИС» относится к дисциплинам части блока Б1 учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Технология СБИС» направлен на формирование следующих компетенций:

**ПК-6:** готовность к применению современных технологических процессов и технологического оборудования на этапах разработки и производства микроэлектронных приборов и устройств твердотельной электроники;

**ПК-7:** способность идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере физики, проектирования, технологии изготовления и применения микроэлектронных приборов и устройств.

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции   |
|-------------|---|
| ПК-6        | <b>знать</b> основные методы расчета базовых технологических параметров;  |
|             | <b>уметь</b> свободно ориентироваться в технологии производства БИС и СБИС;   |
|             | <b>владеть</b> навыками составления технологических карт изготовления СБИС.   |
| ПК-7        | <b>знать</b> тенденции и перспективы развития электроники и нанoeлектроники;  |
|             | <b>уметь</b> рассчитывать и выбирать конструктивные параметры электронной компонентной базы;  |
|             | <b>владеть</b> современными электронными средствами справочной информации для выбора типа конструкции, подбора элементной базы и т.д. |

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Технология СБИС» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

##### Очная форма обучения

| Вид учебной работы                          | Всего часов | Семестры |
|---|-------------|----------|
|   |             | 8        |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>           | 50          | 50       |
| В том числе:                                |             |          |
| Лекции                                      | 30          | 30       |
| Лабораторные работы (ЛР)                    | 20          | 20       |
| в том числе в форме практической подготовки | 8           | 8        |
| <b>Самостоятельная работа</b>               | 58          | 58       |
| Вид промежуточной аттестации – зачет        | +           | +        |
| Общая трудоемкость час                      | 108         | 108      |
| зач. ед.                                    | 3           | 3        |

##### Заочная форма обучения

| Вид учебной работы                          | Всего часов | Семестры |
|---|-------------|----------|
|   |             | 10       |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>           | 10          | 10       |
| В том числе:                                |             |          |
| Лекции                                      | 6           | 6        |
| Лабораторные работы (ЛР)                    | 4           | 4        |
| в том числе в форме практической подготовки | 4           | 4        |
| <b>Самостоятельная работа</b>               | 94          | 94       |
| Часы на контроль                            | 4           | 4        |
| Вид промежуточной аттестации – зачет        | +           | +        |
| Общая трудоемкость час                      | 108         | 108      |
| зач. ед.                                    | 3           | 3        |

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

##### очная форма обучения

| № п/п | Наименование темы                                     | Содержание раздела   | Лекц | Лаб. зан. | СРС | Всего, час |
|-------|---|--|------|-----------|-----|------------|
| 1     | Технологический аспект изготовления подложек для СБИС | Краткая историческая справка о развитии полупроводникового приборостроения в России и за рубежом. Современное состояние производства СБИС. Основные тенденции повышения плотности интеграции ИМС. Особенности механической обработки подложек кремния и соединений типа А <sup>3</sup> В <sup>5</sup> . Совершенствование подложек для СБИС. | 4    | -         | 7   | 11         |

|              |   |   |           |           |           |            |
|--------------|---|---|-----------|-----------|-----------|------------|
| 2            | Технологические процессы подготовки полупроводниковых подложек для СБИС | Ионно-плазменная обработка подложек. Плазмохимическая обработка. Контроль качества поверхности.   | 4         | -         | 7         | 11         |
| 3            | Технология получения защитных пленок                                    | Технология термического окисления в сухом кислороде. Технология термического окисления в парах воды. Окисление во влажном кислороде. Дефекты, возникающие при термическом окислении кремния. Использование нитрида кремния и оксидов металлов. Контроль качества защитных пленок.   | 4         | 4         | 7         | 15         |
| 4            | Технология получения эпитаксиальных структур                            | Рост эпитаксиальных пленок из газовой фазы. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Технологические особенности эпитаксиального наращивания соединений типа $A^3B^5$ и твердых растворов на их основе. Технология получения полупроводниковых сверхрешеток. Тенденции развития эпитаксиальной технологии. Контроль качества эпитаксиальных слоев.  | 6         | 2         | 8         | 20         |
|              |   | <i>практическая подготовка обучающихся</i>  |           | 4         |           |            |
| 5            | Литографические способы в производстве СБИС                             | Рентгенолитография. Электронолитография. Резисты, их характеристики. Проблемы применения ионных пучков для литографирования поверхности технологических слоев. Сравнительные характеристики различных методов литографирования поверхности.   | 6         | 2         | 8         | 20         |
|              |   | <i>практическая подготовка обучающихся</i>  |           | 4         |           |            |
| 6            | Получение электронно-дырочных переходов методом ионного легирования     | Основные принципы и характеристики процесса ионного легирования. Принцип легирования методом внедрения ионов в твердое тело. Возможности и перспективы применения ионного легирования в производстве ИМС. Основные принципы и характеристики процесса ионного легирования. Распределение пробегов ионов в аморфной и монокристаллической мишени. Радиационные дефекты. Отжиг радиационных дефектов. Термический и лазерный отжиг. Методы активации примесей. Технология ионного легирования. Способы контроля имплантированных слоев. | 2         | 4         | 7         | 13         |
| 7            | Особенности технологии изготовления трехмерных ИС (ТМ ИС)               | ТМ ИС с функционально связанными слоями. ТМ ИС с структурно связанными слоями. Технологический процесс изготовления ТМ ИС.  | 2         | -         | 7         | 9          |
| 8            | Технология СБИС на арсениде галлия                                      | Приборы на GaAs для быстродействующих СБИС. Технология изготовления ПТШ с самосовмещенным затвором на GaAs для СБИС. Технология изготовления ТВПЭ для СБИС.   | 2         | -         | 7         | 9          |
| <b>Итого</b> |   |   | <b>30</b> | <b>20</b> | <b>58</b> | <b>108</b> |

### заочная форма обучения

| № п/п | Наименование темы   | Содержание раздела   | Лекц | Лаб. зан. | СРС | Всего час |
|-------|---|--|------|-----------|-----|-----------|
| 1     | Технологический аспект изготовления подложек для СБИС                   | Краткая историческая справка о развитии полупроводникового приборостроения в России и за рубежом. Современное состояние производства СБИС. Основные тенденции повышения плотности интеграции ИМС. Особенности механической обработки подложек кремния и соединений типа $A^3B^5$ . Совершенствование подложек для СБИС.                  | -    |           | 11  | 11        |
| 2     | Технологические процессы подготовки полупроводниковых подложек для СБИС | Ионно-плазменная обработка подложек. Плазмохимическая обработка. Контроль качества поверхности.  | -    |           | 11  | 11        |
| 3     | Технология получения защитных пленок                                    | Технология термического окисления в сухом кислороде. Технология термического окисления в парах воды. Окисление во влажном кислороде. Дефекты, возникающие при термическом окислении кремния. Использование нитрида кремния и оксидов металлов. Контроль качества защитных пленок.  | -    | -         | 12  | 12        |
| 4     | Технология получения эпитаксиальных структур                            | Рост эпитаксиальных пленок из газовой фазы. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Технологические особенности эпитаксиального наращивания соединений типа $A^3B^5$ и твердых растворов на их основе. Технология получения полупроводниковых сверхрешеток. Тенденции развития эпитаксиальной технологии. Контроль качества эпитаксиальных слоев. | 2    | -         | 12  | 16        |
|       |   | <i>практическая подготовка обучающихся</i>   |      | 2         |     |           |
| 5     | Литографические способы в производстве СБИС                             | Рентгенолитография. Электронолитография. Резисты, их характеристики. Проблемы применения ионных пучков для литографирования поверхности технологических слоев. Сравнительные характеристики различных  | 2    | -         | 12  | 16        |

|                 |   |   |          |          |           |            |
|-----------------|---|---|----------|----------|-----------|------------|
|                 |   | методов литографирования поверхности.   |          |          |           |            |
|                 |   | <i>практическая подготовка обучающихся</i>  |          | 2        |           |            |
| 6               | Получение электронно-дырочных переходов методом ионного легирования | Основные принципы и характеристики процесса ионного легирования. Принцип легирования методом внедрения ионов в твердое тело. Возможности и перспективы применения ионного легирования в производстве ИМС. Основные принципы и характеристики процесса ионного легирования. Распределение пробегов ионов в аморфной и монокристаллической мишени. Радиационные дефекты. Отжиг радиационных дефектов. Термический и лазерный отжиг. Методы активации примесей. Технология ионного легирования. Способы контроля имплантированных слоев. | 2        | -        | 12        | 14         |
| 7               | Особенности технологии изготовления трехмерных ИС (ТМ ИС)           | ТМ ИС с функционально связанными слоями. ТМ ИС с функционально и структурно связанными слоями. Технологический процесс изготовления ТМ ИС.  | -        | -        | 12        | 12         |
| 8               | Технология СБИС на арсениде галлия                                  | Приборы на GaAs для быстродействующих СБИС. Технология изготовления ПТШ с самосовмещенным затвором на GaAs для СБИС. Технология изготовления ТВПЭ для СБИС.   | -        | -        | 12        | 12         |
| <b>Всего</b>    |   |   | <b>6</b> | <b>4</b> | <b>94</b> | <b>104</b> |
| <b>Контроль</b> |   |   |          |          |           | <b>4</b>   |
| <b>Итого</b>    |   |   |          |          |           | <b>108</b> |

Практическая подготовка при освоении дисциплины «Технология СБИС» проводится путем непосредственного выполнения обучающимися на лабораторных занятиях отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью, способствующих формированию, закреплению и развитию практических навыков и компетенций по профилю соответствующей образовательной программы:

| № п/п | Перечень выполняемых обучающимися отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью                               | Формируемые профессиональные компетенции |
|-------|---|--|
| 1     | Получение практических навыков по применению различных методов литографии при производстве изделий твердотельной электроники.                 | ПК-6, ПК-7                               |
| 2     | Получение практических навыков по использованию различных методов эпитаксиального наращивания полупроводниковых слоев и контроля их качества. | ПК-6, ПК-7                               |

## 5.2 Перечень лабораторных работ

1. Перераспределение примеси на границе при эпитаксии. Расчет параметров роста эпитаксиальной пленки.
2. Проекционная оптическая фотолитография
3. Окисление кремния. Модель Дила-Гроува. Расчет толщины пленки SiO<sub>2</sub>,
4. Технология формирования n<sup>+</sup>-р-n структуры ионным легированием

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Технология СБИС» не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции  | Критерии оценивания                         | Аттестован  | Не аттестован   |
|-------------|--|---|---|---|
| ПК-6        | знать основные методы расчета базовых технологических параметров;  | Сдана теория, выполнены лабораторные работы | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | уметь свободно ориентироваться в технологии производства БИС и СБИС;   | Сдана теория, выполнены лабораторные работы | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | владеть навыками составления технологических карт изготовления СБИС.   | Сдана теория, выполнены лабораторные работы | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| ПК-7        | знать тенденции и перспективы развития электроники и нанoeлектроники;  | Сдана теория, выполнены лабораторные работы | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | уметь рассчитывать и выбирать конструктивные параметры электронной компонентной базы;  | Сдана теория, выполнены лабораторные работы | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | владеть современными электронными средствами справочной информации для выбора типа конструкции, подбора элементной базы и т.д. | Сдана теория, выполнены лабораторные работы | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

#### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 8 семестре для очной формы обучения, 10 семестре для заочной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции    | Критерии оценивания                    | Зачтено                              | Не зачтено            |
|-------------|--|--|--------------------------------------|-----------------------|
| ПК-6        | знать основные методы расчета базовых технологических параметров;    | Тест                                   | Выполнение теста на 70 – 100 %       | Выполнение менее 70 % |
|             | уметь свободно ориентироваться в технологии производства БИС и СБИС; | Решение стандартных практических задач | Продемонстрирован верный ход решения | Задачи не решены      |

|      |   |  |  |                       |
|------|---|--|--|-----------------------|
|      |   |  | в большинстве задач                                      |                       |
|      | <b>владеть</b> навыками составления технологических карт изготовления СБИС.   | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены      |
| ПК-7 | <b>знать</b> тенденции и перспективы развития электроники и нанoeлектроники;  | Тест   | Выполнение теста на 70 – 100 %                           | Выполнение менее 70 % |
|      | <b>уметь</b> рассчитывать и выбирать конструктивные параметры электронной компонентной базы;  | Решение стандартных практических задач                   | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены      |
|      | <b>владеть</b> современными электронными средствами справочной информации для выбора типа конструкции, подбора элементной базы и т.д. | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены      |

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств ( типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Ширина запрещенной зоны кремния:

1. 1,6 эВ;
2. 0,98 эВ;
3. 1,12 эВ;
4. 8,9 эВ.

2. В состав газов травителей алюминия обязательно входит:

1. хлор;
2. фтор;
3. йод;
4. бор.

3. Лучшую очистку поверхности для молекулярно-лучевой эпитаксии обеспечивает:

1. очистка поверхности с помощью пучка низко-энергетических ионов инертного газа;
2. высокотемпературный отжиг.

4. Какой из методов окисления применяется наиболее часто?

1. термическое окисление;
2. осаждение  $\text{SiO}_2$  из газовой фазы.

5. Модель Дила-Гроува применима в диапазоне температур:

1. 300 – 700 °С;
2. 700 – 1300 °С;
3. 900 – 1100 °С.

6. Скрытый  $n^+$ -слой в при производстве биполярных ИС формируют для:

1. уменьшения сопротивления коллектора;
2. повышения напряжения пробоя перехода коллектор – база;
3. электрической изоляции приборов, находящихся на одной подложке.

7. Профиль распределения легирующей примеси при ионной имплантации описывается с помощью статистического распределения:

1. Стьюдента;

2. Гаусса;
  3. Ферми-Дирака.
8. При термическом окислении можно получить оксидную пленку толщиной:
1. 0,3 – 0,4 мкм;
  2. 1 – 2 мкм;
  3. 9 – 12 мкм;
  4. без ограничений.
9. По какому механизму диффундируют В и Р?
1. диссоциативному;
  2. междоузельному;
  3. вакансионному;
  4. краудионному.
10. К металлизации предъявляется требование:
1. высокое удельное сопротивление;
  2. низкая пластичность;
  3. хорошая адгезия.

### **7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

1. Модель отжига имплантированного кремния с использованием импульсного и непрерывного лазеров.
2. Распределение пробегов - распределение по Гауссу, несимметричное распределение (сопряженные гауссианы).
3. Распределение Пирсона с четырьмя моментами.
4. Метод Монте-Карло для расчета пробегов
5. Распределения примесей при ионной имплантации и отжиге
6. Перераспределение примеси на границе при эпитаксии.
7. Рентгеновская литография
8. Электронная литография
9. Требования к подложкам
10. Распределение пробегов в многослойных мишенях.

### **7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

1. Расчет скорости роста эпитаксиального слоя кремния из парогазовой фазы.
2. Расчет распределения легирующей примеси при ее диффузии в полупроводниковую пластину и временной зависимости положения р-п перехода.
3. Расчет скорости роста и толщины эпитаксиального слоя при выращивании из раствора-расплава.
4. Расчет энергетических потерь ускоренных ионов в аморфном твердом теле.
5. Расчет среднего полного пробега ускоренных ионов в аморфном твердом теле.

6. Расчет среднего нормального пробега и страгглинга нормального пробега ускоренных ионов в аморфном твердом теле.
7. Расчет распределения ионно-имплантированных примесей в однородной мишени в приближении двух параметров.
8. Разрешающая способность, погрешности, искажения и артефакты в сканирующей зондовой микроскопии.
9. Контактное и бесконтактное формирование нанорельефа поверхности подложек.
10. Модификация свойств среды в зазоре между проводящим зондом и подложкой.

#### **7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету**

1. Классификация и основные этапы технологии изготовления полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.
2. Современные способы литографических процессов.
3. Механическая обработка полупроводниковых пластин: шлифовка.
4. Основные этапы фотолитографического процесса.
5. Виды фоторезистов.
6. Способы получения фотошаблонов.
7. Механическая обработка полупроводниковых пластин: полировка.
8. Получение металлических пленок методом конденсации в вакууме.
9. Травление полупроводников и полупроводниковых соединений.
10. Получение металлических пленок методом катодного распыления.
11. Получение металлических пленок методом ионно-плазменного распыления.
12. Получение р-п переходов методом диффузии. Распределение примеси при диффузии.
13. Создание омических контактов.
14. Контакты с подслоем золота и титана.
15. Диффузия из источника с постоянной поверхностной концентрацией (стадия загонки).
16. Создание тонкопленочных резисторов и конденсаторов.
17. Диффузия из тонкого слоя с фиксированным количеством примеси (стадия разгонки).
18. МДП-технология.
19. Способы проведения диффузионных процессов.
20. Технологический процесс создания комплиментарной пары МОП-транзисторов.
21. Способы получения эпитаксиальных пленок.
22. Основные этапы сборки полупроводниковых приборов и ИС.
23. Методы эпитаксиального наращивания кремния.
24. Методы эпитаксиального наращивания германия.
25. Методы эпитаксиального наращивания арсенида галлия.
26. Категории и виды испытаний полупроводниковых приборов и ИС.

27. Физические основы ионной имплантации. Эффект каналирования ионов.
28. Конструктивное оформление микросхем различных классов.
29. Дефекты, вносимые электронно-ионной обработкой, способы их устранения.
30. Общие технические условия на испытания полупроводниковых приборов и ИС

### 7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом.

### 7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 5 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 5 баллов. Максимальное количество набранных баллов – 10.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 7 баллов.

2. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 7 до 10 баллов.

При получении оценки «Зачтено» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины                                | Код контролируемой компетенции | Наименование оценочного средства |
|-------|---|--------------------------------|----------------------------------|
| 1     | Технологический аспект изготовления подложек для СБИС                   | ПК-6, ПК-7                     | Тест, зачет, устный опрос        |
| 2     | Технологические процессы подготовки полупроводниковых подложек для СБИС | ПК-6, ПК-7                     | Тест, зачет, устный опрос        |
| 3     | Технология получения защитных пленок                                    | ПК-6, ПК-7                     | Тест, зачет, устный опрос        |
| 4     | Технология получения эпитаксиальных структур                            | ПК-6, ПК-7                     | Тест, зачет, устный опрос        |
| 5     | Литографические способы в производстве СБИС                             | ПК-6, ПК-7                     | Тест, зачет, устный опрос        |
| 6     | Получение электронно-дырочных переходов методом ионного легирования     | ПК-6, ПК-7                     | Тест, зачет, устный опрос        |
| 7     | Особенности технологии изготовления трехмерных ИС (ТМ ИС)               | ПК-6, ПК-7                     | Тест, зачет, устный опрос        |
| 8     | Технология СБИС на арсениде галлия                                      | ПК-6, ПК-7                     | Тест, зачет, устный опрос        |

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста преподавателем и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### Основная литература

1. **Коледов Л.А.** Технологии и конструкции микросхем, микропроцессов и микросборок: учеб. пособие / Л.А. Коледов. - 3-е изд., стереотип. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2009. - 400 с. - ISBN 978-5-8114-0766-8

2. **Коледов Л. А.** Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Л.А. Коледов. - 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2021. - 400 с. - ISBN 978-5-8114-0766-8. URL: <https://e.lanbook.com/book/167750>

3. **Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем:** учеб. пособие : рекомендовано Учебно-методическим объединением. Ч. 2: Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / под общ. ред. Ю.А. Чаплыгина. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 422 с. - ISBN 978-5-94774-585-6 (Ч. 2). - ISBN 978-5-94774-583-2

4. **Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий:** учеб. пособие: в 2 т. Т. 2: Технологические аспекты / М.В. Акуленок, В.М. Андреев, Д.Г. Громов и др.; под общ. ред. Ю.Н. Коркишко. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. - 252 с. - (Нанотехнологии). – ISBN 978-5-9963-0336-6 (Т. 2). - ISBN 978-5-9963-0341-0

5. **Галперин В.А.** Процессы плазменного травления в микро- и нанотехнологиях: учеб. пособие / В.А. Галперин; под ред. С.П. Тимошенкова. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 283 с. - (Нанотехнологии). - ISBN 978-5-9963-0032-7

6. **Инновационные технологии и оборудование субмикронной электроники :** монография / А. П. Достанко [и др.]. - Минск : Белорусская наука, 2020. - 261 с. - Текст. - ISBN 978-985-08-2521-6. URL: <http://www.iprbookshop.ru/107658.html>

7. **Липатов Г.И.** Расчеты процессов очистки и получения пленок и слоев методами физического и химического осаждения [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Г.И. Липатов.

- Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. - 102 с. - ISBN 978-5-7731-0798-9. URL: <http://www.iprbookshop.ru/93336.html>

#### Дополнительная литература

**8. Васильев В.Ю.** Современное производство изделий микроэлектроники : учеб. пособие / В.Ю. Васильев. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. - 88 с. - ISBN 978-5-7782-3907-4. URL: <http://www.iprbookshop.ru/98737.html>

**9. Основы производства изделий электронной техники:** учеб. пособие / М.И. Горлов, А.В. Строгонов, Т.Г. Меньшикова, О.Л. Бордюжа, О.Н. Черкасов. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 2023. – 135 с. - ISBN 978-5-7994-1080-3.

**10. Шилова О.А.** Золь-гель технология микро- и нанокompозитов [Электронный ресурс] / О.А. Шилова. – СПб.: Лань, 2022. - 304 с. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-1417-8. URL: <https://e.lanbook.com/book/211280>

**11. Акулинин С.А.** Контрольно-измерительные операции в технологии интегрированных структур [Электронный ресурс]: учеб. пособие / С.А. Акулинин. – Электрон. текстовые, граф. дан. (4,31 Мб). – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010.

**12. Зенин В.В.** Монтаж кристаллов и внутренних выводов в производстве полупроводниковых изделий [Электронный ресурс]: монография / В.В. Зенин. - Электрон. текстовые, граф. дан. (11,0 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013.

**13. Технология СБИС:** в 2-х кн. Кн. 1 / под ред. С. Зи; пер. с англ. под ред. Ю.Д. Чистякова. – М.: Мир, 1986. – 404 с.

**14. Технология СБИС:** в 2-х кн. Кн. 2 / под ред. С. Зи; пер. с англ. под ред. Ю.Д. Чистякова. – М.: Мир, 1986. – 453 с.

**15. Красников Г.Я.** Физико-технологические основы обеспечения качества СБИС. Ч. 1 / Г.Я. Красников, Н.А. Зайцев. - М.: Микрон-Принт, 1999. - 226 с. - ISBN 5-93497-001-1

**16. Красников Г.Я.** Физико-технологические основы обеспечения качества СБИС. Ч. 2 / Г.Я. Красников, Н.А. Зайцев. - М.: Микрон-Принт, 1999. - 216 с. - ISBN 5-93497-001-1

**17. Методические указания** к выполнению лабораторных работ № 1 - 2 по дисциплине «Процессы микро- и нанотехнологии» для студентов специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника» и направления 140400 «Техническая физика» очной формы обучения / Каф. полупроводниковой электроники и наноэлектроники; Сост.: В.И. Пантелеев, Е.В. Бордаков. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. - 41 с. (№ 58-2010)

**18. Методические указания** к выполнению лабораторных работ № 3 - 4 по дисциплине «Процессы микро- и нанотехнологии» для студентов специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника» и направления 140400 «Техническая физика» очной формы обучения / Каф. полупроводниковой электроники и наноэлектроники; Сост.: В.И. Пантелеев, Е.В. Бордаков. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. - 41 с. (№ 59-2010)

**19. Методические указания** к выполнению лабораторных работ № 5 - 6 по дисциплине «Процессы микро- и нанотехнологии» для студентов специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника» и направления 140400 «Техническая физика» очной формы обучения / Каф. полупроводниковой электроники и наноэлектроники; Сост.: В.И. Пантелеев, Е.В. Бордаков. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. - 46 с. (№ 60-2010)

**20. Методические указания** к выполнению лабораторных работ № 7 - 9 по дисциплине «Процессы микро- и нанотехнологии» для студентов специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника» и направления 140400 «Техническая физика» очной формы обучения / Каф. полупроводниковой электроники и наноэлектроники; Сост.: В.И. Пантелеев, Е.В. Бордаков. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. - 43 с. (№ 61-2010)

21. **Методические указания** к выполнению лабораторных работ № 10 - 12 по дисциплине «Процессы микро- и нанотехнологии» для студентов специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника» и направления 140400 «Техническая физика» очной формы обучения / Каф. полупроводниковой электроники и наноэлектроники; Сост.: В.И. Пантелеев, Е.В. Бордаков. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. - 45 с. (№ 62-2010)

## **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем**

**Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:**

- Операционные системы семейства MSWindows;
- Пакет офисных программ LibreOffice;
- Программа просмотра файлов WinDjview;
- Программа просмотра файлов формата pdf Adobe Acrobat Reader;
- Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome;
- Математический пакет MathCad Express, Smath Studio;
- Среда разработки Python;
- Система управления курсами Moodle;

**Используемые электронные библиотечные системы:**

- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL»: <http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;
- ЭБС Издательства «ЛАНЬ», в том числе к коллекциям «Инженерно-технические науки», «Физика»: <http://e.lanbook.com/>;
- ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>.

**Информационные справочные системы:**

- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования: <http://fgosvo.ru/>;
- единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/>;
- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ: <http://online.mephi.ru/>;
- открытое образование: <https://openedu.ru/>;
- физический информационный портал: <http://phys-portal.ru/index.html>
- Профессиональные справочные системы «Техэксперт»: <https://cntd.ru>
- Электронная информационная образовательная среда ВГТУ: <https://old.education.cchgeu.ru>
- официальный сайт АО «Корпорация НПО «РИФ»: <http://www.rifcorp.ru>

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

**1. Специализированная аудитория** для чтения лекций, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций: мультимедиа-проектором, стационарным экраном, находящаяся на территории профильного предприятия АО «Корпорация НПО «РИФ», расположенного по адресу: г. Воронеж, ул. Дорожная ул., д. 17, корп. 2.

**2. Производственное оборудование** для проведения лабораторных работ, находящееся на территории профильного предприятия АО «Корпорация НПО «РИФ», расположенного по адресу: г. Воронеж, ул. Дорожная ул., д. 17, корп. 2.

**3. Дисплейный класс** для самостоятельной работы студентов, укомплектованный специализированной мебелью и оснащенный персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, ауд. 209/4 (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);

рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 20 человек.

компьютер-сборка каф.9;

компьютер в составе: (Н61/IntelCorei3/Кв/М/20" LCD);

компьютер-сборка каф.7;

компьютер-сборка каф.3;

компьютер в составе: (Н61/IntelCorei3/Кв/М/23" LCD);

компьютер-сборка каф.5;

компьютер-сборка каф.4;

компьютер-сборка каф.8;

компьютер-сборка каф.2;

компьютер-сборка каф.6;

компьютер-сборка каф.10;

комп. в сост: сист.блок RAMEC GALE,монитор 17" LCD;

компьютер-сборка каф.1;

огнетушитель.

## **10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Технология СБИС» читаются лекции, проводятся лабораторные занятия, в том числе в форме практической подготовки.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Лабораторные занятия направлены на приобретение практических навыков работы на технологическом оборудовании. Занятия проводятся путем выполнения лабораторных работ на профильном предприятии АО «Корпорация НПО «РИФ» (г. Воронеж).

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию обо всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины производится тестированием. Освоение дисциплины оценивается на зачете.

| Вид учебных занятий | Деятельность студента  |
|---------------------|--|
| Лекция              | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, |

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
|                                       | справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.   |
| Лабораторная работа                   | Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных работ, для подготовки к ним необходимо: разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу.  |
| Самостоятельная работа                | Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul> |
| Подготовка к промежуточной аттестации | Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.   |

### ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

| №<br>п/п | Перечень вносимых изменений  | Дата<br>внесения<br>изменений | Подпись заведующего<br>кафедрой, ответственной<br>за реализацию ОПОП                |
|----------|--|-------------------------------|---|
| 1        | Актуализирован раздел 8.1 в части состава учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины. | 04.02.2025                    |  |
| 2        |  |                               |   |
| 3        |  |                               |   |
| 4        |  |                               |   |