



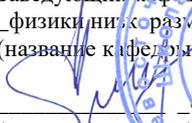
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

«СОГЛАСОВАНО»  
Руководитель ОП

  
\_\_\_\_\_ Крайнова Г. С. \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О. рук.ОП)  
« 19 » \_\_\_\_\_ сентября \_\_\_\_\_ 2018 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой  
\_физики низкоразмерных структур\_  
(название кафедры)  
  
\_\_\_\_\_ Саранин А.А. \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О. зав. каф.)  
« 19 » \_\_\_\_\_ сентября \_\_\_\_\_ 2018 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Основы технологии и расчета электронной компонентной базы:

**Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»**

**Профиль Электроника и нанoeлектроника**

**Форма подготовки очная**

курс 3, 4 семестр 6, 7

лекции 52 час.

практические занятия час.

лабораторные работы 98 час.

в том числе с использованием МАО   лек /пр. час/ лаб 28 час./

всего часов аудиторной нагрузки 150 час.

в том числе с использованием МАО 28 час.

самостоятельная работа 66 час.

в том числе на подготовку к экзамену 36 час.

контрольные работы 6, 7 семестр

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены

зачет   6   семестр

экзамен   7   семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта, самостоятельно устанавливаемого ДВФУ, утвержденного приказом ректора от 18.02.2016 № 12-13-235.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры физики низкоразмерных структур, протокол № 1 от « 19 » \_\_\_\_\_ сентября \_\_\_\_\_ 2018 \_\_\_\_\_ г.

Зав. кафедрой: д.ф.-м.н., член-корр., Саранин А.А.

Составитель: д.ф.-м.н., Коробцов В.В.

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ А.А.Саранин  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ А.А.Саранин  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## **ABSTRACT**

### **Bachelor's degree in 11.03.04 Electronics and Nanoelectronics**

**Course title:** Fundamentals of technology and calculation of electronic component base

#### **Basic part of Block 1, 6 credits**

**Instructor:** Doctor of science Korobtsov V.V.

#### **At the beginning of the course a student should be able to:**

ability to self-organization and self-education (GCC-14);

the ability to present an adequate modern level of knowledge of the scientific picture of the world on the basis of knowledge of the basic provisions, laws and methods of natural Sciences and mathematics (GPC-1);

the ability to identify the natural science essence of the problems arising in the course of professional activity, to involve for their solution the appropriate physical and mathematical apparatus (GPC-2);

ability to solve problems of analysis and calculation of characteristics of electric circuits (GPC-3).

#### **Learning outcomes:**

GPC-4, willingness to use modern means of performing and editing images and drawings and preparation of design and technological documentation;

SPC-9, ability to perform works on technological preparation of production of materials and products of electronic equipment;

SPC-18, readiness to carry out routine inspection of the technical condition of the equipment, its preventive inspection and maintenance.

**Course description:** The discipline is provided by the curriculum in order to form students' knowledge of the physical and chemical basics of basic technological processes used in the production of microelectronic devices with micron and submicron sizes of active areas and working layers, as well as knowledge about the basics of designing technological cycles of production of simple microelectronic structures

The objectives of the discipline are:

formation of students ' knowledge about the purpose, physical principles and methods of the main technological processes underlying the technology of solid-state electronics devices and integrated circuits, the production of micro-and nanoelectronics devices;

formation of skills of modeling the processes of semiconductor devices;

obtaining in-depth professional education on the technology of electronic component base, providing the opportunity to quickly and independently acquire new knowledge necessary for adaptation and successful professional activity in the field of micro - and nanoelectronics;

to impart to the future specialist modern design thinking, to acquaint with the basic designs of elements of electronic component base and principles of construction of integrated circuits, to consider methods of design of the basic elements of modern micro-and nanoelectronics, knowledge and skills allowing to carry out information search, using means and methods of automation of design process.

### **Main course literature:**

1. Introduction in processes of integrated micro- and nanotechnology: textbook for higher educational establishments: in 2 v /under the General editorship of Yu. N. Korkishko. M.:BINOM. Laboratory of knowledge, 2010-2011. - (Nanotechnologies.) Vol. 1: Physical and chemical bases of microelectronics technology/ Yu. D. Chistyakov, Yu. P. Raynova.-392p.

<https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:298095&theme=FEFU>

2. Introduction in processes of integrated micro- and nanotechnology: textbook for higher educational establishments: in 2 v /under the General editorship of Yu. N. Korkishko. M.:BINOM. Laboratory of knowledge, 2010-2011. - (Nanotechnologies.) Vol.2. Technological aspects / [M. V. Akulenok, V. M. Andreev, D. A. Gromov et al.]. - 2011. – 253p.

<https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:298095&theme=FEFU>

3. Gromov D. G. Metallization of ultra-large integrated circuits: textbook/ D. I. Gromov, A. I. Mochalov, A. D. Sulimin, V. I. Shevyakov. – M.: BINOM. Laboratory of knowledge, - 2009. – 277p.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:277417&theme=FEFU>

4. Barybin A. A. Physico-technological foundations of macro-, micro - and nano-electronics: textbook for universities / A. A. Barybin and V. I. Tomilin, V. I. Shapovalov ; under the General editorship of A. A. Barybina. - Moscow : Fizmatlit, 2011. -783 p.

<https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:675441&theme=FEFU>

5. VLSI technology : in 2 v. v. 1 / [K. pierce, A. Adams, L. Katz, etc.] ; lane. Zverolovlev V. M. [and others]. Moscow : Mir, 1986.404 p. Access mode:

<https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:782237&theme=FEFU>

6. VLSI technology in 2 v. : v. 2 / [K. Mogebe, D. Fraser, W. Fichtner, etc.] ; lane. V. N. Leykin [et al.]; ed. by S. Z. Moscow : Mir, 1986.453 p.

<https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:782259&theme=FEFU>

**Form of final knowledge control:** pass/exam.

## **Аннотация для рабочей программы учебной дисциплины**

Рабочая программа предназначена для студентов 3, 4 курсов специальности «Электроника и наноэлектроника», общая трудоемкость дисциплины 6 зачетных единицы (216 часов).

Учебным планом предусмотрены лекции (52 часа), лабораторные работы (98 часов), самостоятельная работа студента (66 часов, включая подготовку к экзамену 36 часов). Дисциплина входит в базовую часть цикла дисциплин образовательной программы, реализуется в 6 и 7 семестрах.

Данная дисциплина требует для своего изучения знания общего курса физики (раздел «Электричество», «Молекулярная физика»), квантовой физики, дисциплин «Материалы электронной техники», «Физика конденсированного состояния».

Дисциплина **«Основы технологии и расчета электронной компонентной базы»** тесно связана с дисциплинами данного направления подготовки такими как «Наноэлектроника», «Физические основы электроники», курсов по выбору вариативной части профессионального цикла.

Дисциплина предусмотрена учебным планом с целью формирования у студентов знаний о физико-химических основах базовых технологических процессов, применяемых при производстве микроэлектронных приборов с микронными и субмикронными размерами активных областей и рабочих слоев, а также знаний об основах проектирования технологических циклов производства простейших микроэлектронных структур

### **Целями освоения дисциплины являются:**

– Формирование у студентов знаний о назначении, физических принципах и методике выполнения основных технологических процессов, лежащих в основе технологии приборов твердотельной электроники и интегральных схем, производства приборов микро- и наноэлектроники;

– Формирование навыков моделирования процессов создания полупроводниковых приборов;

– Получение углубленного профессионального образования по технологии электронной компонентной базы, обеспечивающего возможность быстрого и самостоятельного приобретения новых знаний, необходимых для адаптации и успешной профессиональной деятельности в области микро - и наноэлектроники;

– привить будущему специалисту современное конструкторское мышление, познакомить с основными конструкциями элементов электронной компонентной базы и принципами построения интегральных схем, рассмотреть методы проектирования основных элементов современной микро- и наноэлектроники, знания и умения, позволяющих проводить информационный поиск, используя средства и способы автоматизации процесса проектирования.

### **Задачи:**

– рассмотреть основные понятия материаловедения, методы формирования элементов с необходимыми электрическими параметрами, физико-химические основы технологических процессов микроэлектроники и наноэлектроники;

– обучиться применять технологические операции для создания элементов необходимой топологии, использовать физические законы для анализа производственных операций, оперировать физическими и технологическими терминами и величинами, решать задачи по расчету параметров основных технологических процессов;

– овладеть практическими приемами при работе с материалами и изделиями микро - и наноэлектроники, измерения их основных параметров, исследования свойств новых материалов, самостоятельной работы на установках контроля технологических процессов;

– изучение основ проектирования электронной компонентной базы;

– освоение современных методов и маршрутов проектирования, средств и способов автоматизации процесса проектирования;

– привитие способностей анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций;

– применение научных методов предварительного технико-экономического обоснования проектов;

– обучение выполнять расчеты и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования;

– ознакомление с формальными принципами разработки проектной и технической документации, оформление законченных проектно-конструкторских работ;

– формирование навыков осуществления контроля соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам.

Для успешного изучения дисциплины «Основы технологии электронной компонентной базы» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

– способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-14);

– способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1);

– способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);

– способностью решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей (ОПК-3);

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие общепрофессиональные и профессиональные компетенции (элементы компетенций).

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ОПК-4, готовность применять современные средства выполнения и редактирования изображений и чертежей и подготовки конструкторско-технологической документации	Знает	<ul style="list-style-type: none"> <li>● элементы начертательной геометрии и инженерной графики</li> </ul>
	Умеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>● применять программные средства при выполнении и редактировании изображений и чертежей при подготовке конструкторско-технологической документации</li> </ul>
	Владеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>● современными программными средствами</li> </ul>
ПК-9, способность выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	Знает	<ul style="list-style-type: none"> <li>● технологии производства материалов и изделий электронной техники;</li> <li>● основные стандарты, технические условия и другие нормативные документы, регламентирующие составление проектов и разработку технической документации в соответствующей сфере;</li> <li>● последовательность контроля, проведения оценки соответствия разрабатываемых проектов и технической документации различным нормативным документам</li> </ul>
	Умеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>● составлять маршрутные карты и технологическую документацию для проведения отдельных операций и процессов сборки изделий;</li> <li>● использовать информацию стандартов, технических регламентов и других нормативных документов при разработке технической документации;</li> <li>● осуществлять контроль соответствия разрабатываемого проекта основным положениям нормативных документов</li> </ul>
	Владеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>● навыками выполнения технологических операций по подготовке и проведению технологических процессов при производстве и использовании материалов и изделий электронной техники;</li> <li>● навыками использования отдельных положений стандартов, технических регламентов и других нормативных документов на конкретной стадии разработки проекта и/или составления технической документации;</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• основными методами осуществления контроля соответствия разрабатываемого проекта положениям нормативных документов</li> </ul>
ПК-18, готовность осуществлять регламентную проверку технического состояния оборудования, его профилактический осмотр и текущий ремонт	Знает	<ul style="list-style-type: none"> <li>• используемое техническое оборудование;</li> <li>• правила техники безопасности и эксплуатации оборудования;</li> <li>• перечень регламентных работ для проверки технического состояния оборудования</li> </ul>
	Умеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>• применять полученные знания при разработке инструкций по эксплуатации используемого технического оборудования и программного обеспечения для обслуживания персонала;</li> <li>• проверять наличие всех необходимых документов для осуществления регламентной проверки технического состояния оборудования, его профилактический осмотр и текущий ремонт</li> </ul>
	Владеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>• современными компьютерными технологиями;</li> <li>• правилами составления технологической документации, необходимой на всех стадиях производственного процесса;</li> <li>• способностью осуществлять регламентную проверку и способностью заключать договора на проведение регламентных работ</li> </ul>

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

### Лекции (52 часа).

#### Раздел I. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ (36 час.)

##### Тема 1. Классификация полупроводниковых приборов (4 час.)

Введение в дисциплину. Элементы электронных схем. Классификация полупроводниковых приборов: диоды, биполярные и полевые транзисторы, тиристоры, фотоэлектрические и излучающие приборы: оптопары, светодиоды, фототранзисторы, фототиристоры, фоторезисторы.

Классификация интегральных микросхем: по технологии получения – монолитные, гибридные; по функциональному назначению – аналоговые, цифровые, нелинейные импульсные.

Современные конструкционные материалы. Методы изоляции элементов интегральных микросхем. Краткая история развития SoC (System on chip) (Система-на-кристале).

## **Тема 2. Нанoeлектроника – достижения и перспективы. Физические основы нанoeлектроники (8 час.)**

Специфика наномира. Свойства индивидуальных наночастиц. Электронная структура. Характеристика квазинепрерывных зон разрешенных значений энергии электронов в кристаллическом твердом теле. Магнитные кластеры. Полупроводниковые наночастицы Режимы слабой и сильной локализации. Кластеры инертных газов.

Углеродные наноструктуры. Природа углеродной связи. Графит – атомная структура (СТМ). Углеродные кластеры; малые углеродные кластеры. Графен. Фуллерен  $C_{60}$ . Углеродные нанотрубки.

Объемные наноструктурные материалы. Основные свойства. Физические принципы нанoeлектроники. Принцип квантования и квантовое ограничение. Низкоразмерные структуры. Транспорт носителей заряда вдоль потенциальных барьеров. Туннелирование носителей заряда Одноэлектронный транзистор. Спиновые эффекты. Технологии создания твердотельных наноструктур. Применение кванто-размерных структур в приборах нанoeлектроники

## **Тема 3. Расчет полупроводниковых и микроэлектронных приборов – основа проектирования электронной компонентной базы (8 час.)**

Особенности моделей полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Математические модели: функциональные и физические. Основные соотношения для расчета полупроводниковых структур. Физические параметры и дифференциальные уравнения.

Характеристики физических процессов в полупроводниковых структурах.

Расчет полупроводниковых диодов и диодных структур интегральных микросхем. Расчет биполярных транзисторов и транзисторных структур

интегральных микросхем. Расчет полевых транзисторов и МДП-структур интегральных микросхем. Расчет тиристорov. Пассивные элементы интегральных микросхем.

#### **Тема 4. Методология проектирования интегральных схем с нанометровыми технологическими размерами изделий электроники на основе нанoeлектронной элементной базы (12 час.)**

Основные направления развития производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. История развития конструкций электронных схем (ЭС). Определяющие факторы развития, методы проектирования специализированных больших интегральных схем (БИС) и сверх больших интегральных схем (СБИС). Структура и классы ЭС. Требования предъявляемые к конструкциям ЭС. Общая характеристика процесса проектирования элементов электронной компонентной базы. Системный подход к проектированию ЭС. Проектирование несущих конструкций. Система межсоединений. Проектирование печатного монтажа, пассивировка и расчеты печатных элементов монтажа. Особенности конструирования печатных плат с поверхностно-плоскостным монтажом компонентов. Основы автоматизации способа проектирования ЭС.

Инфраструктура проектирования и производства SoC. Библиотеки IP блоков для SoC проектирования. Процесс проектирования SoC. SoC–проектирование с учетом алгоритмов и аппаратные/программные платформы. Некоторые аспекты эволюции SoC.

#### **Тема 5. Применение нормативной документации при проектировании электронной компонентной базы (4 час.)**

Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Технический проект – основа рабочей конструкторской документации. Виды конструкторской документации. Стадии разработки, этапы работы. Пояснительная записка, чертежи в проекте.

Единая система технологической документации (ЕСТД), ГОСТы.

## **Раздел II. Введение (1 час.)**

### **Тема 1. Этапы развития и современное состояние технологии материалов и приборов макро-, микро- и нанoeлектроники (1 час.)**

Введение в полупроводниковое производство. Корни и развитие полупроводниковой промышленности. Интеграция приборов. Интеграционные эпохи. Изготовление интегральных схем (ИС): Вафельная фабрика. Этапы изготовления ИС. Тенденции развития полупроводникового производства: увеличение производительности и надежности чипа, снижение его стоимости. Эпохи развития электроники. Карьера в полупроводниковом производстве

## **Раздел III. Основные процессы технологии электронной компонентной базы. Производственная чистота. Метрология и дефектоскопия. Обзор вафельной фабрики и стадий изготовления КМОП (7 час.)**

### **Тема 1. Полупроводниковые материалы (1 час.)**

Характеристики полупроводниковых материалов. Структура атома. Периодическая таблица. Классификация материалов. Кремний. Альтернативные полупроводниковые материалы.

### **Тема 2. Приборные технологии (1 час.)**

Типы схем. Структуры пассивных компонент. Структуры активных компонент. Эффект защелкивания в КМОП устройствах. Типы интегральных схем

### **Тема 3. Кремний и изготовление пластин (1 час.)**

Кремний полупроводникового класса. Кристаллическая структура. Ориентация кристалла. Рост монокристаллического кремния. Причины для увеличения диаметра слитка. Дефекты в кристаллическом кремнии. Технологический маршрут изготовления подложек. Контроль качества подложек. Эпитаксиальный слой

### **Тема 4. Химреактивы в полупроводниковом производстве (1 час.)**

Состояние вещества. Химические свойства материалов для полупроводникового производства. Химические жидкости и газы в полупроводниковом производстве. Техника безопасности

#### **Тема 5. Чистота полупроводникового производства (1 час.)**

Контроль загрязнений на «вафельной» фабрике. Виды загрязнений. Источники и контроль загрязнений. Влажная очистка пластин

#### **Тема 6. Метрология и дефектоскопия (1 час.)**

Метрология и дефектоскопия. Метрология ИС. Меры качества. Аналитические методы и оборудование

#### **Тема 7. Технологический маршрут изготовления ИС (1 час.)**

Обзор технологических участков «вафельной» фабрики. Стадии изготовления КМОП. Параметрическое тестирование

### **Раздел IV. Физико-технологические процессы формирования ИС (4 час.)**

#### **Тема 1. Окисление (1 час.)**

Окисление. Природа окисной пленки. Использование окисной пленки. Химические реакции окисления и модель роста окисной пленки. Типы термических печей, их достоинства и недостатки. Быстрый термический процессор. Технологический маршрут термического окисления. Измерения качества окисления. Диагностика и устранение проблем окисления

#### **Тема 2. Осаждение (1 час.)**

Осаждение. Тонкопленочная терминология. Характеристики пленок. Методы осаждения пленок. Химическое осаждение из пара (CVD) и его разновидности. Системы CVD. Диэлектрики и быстродействие ИС. Центрифугирование диэлектриков. Эпитаксия. Меры качества CVD. Диагностика и устранение проблем CVD.

#### **Тема 3. Металлизация (1 час.)**

Металлизация. Металлы, используемые при изготовлении чипа. Системы осаждения металлов. Схемы металлизации. Меры качества металлизации. Диагностика и устранение проблем металлизации.

Травление. Процессы травления. Параметры травления. Сухое травление. Реакторы плазменного травления. Применение сухого травления. Мокрое травление. Удаление фоторезиста. Контроль мер качества травления. Диагностики и устранение проблем травления.

#### **Тема 4. Ионная имплантация и диффузия (1 час.)**

Ионная имплантация. Легированные области. Диффузия: принципы и процессы. Параметры ионной имплантации. Установка ионной имплантации. Эффекты каналирования. Направления применения ионной имплантации в производстве ИС. Измерения качества ионной имплантации. Диагностика и устранение проблем ионной имплантации.

Химико-механическая планаризация (ХМП). Традиционная планаризация. Механизмы и возможности ХМП. Оборудование для ХМП. Применение ХМП в процессе изготовления ИС. Измерения качества ХМП. Диагностика и устранение проблем ХМП.

### **Раздел V. Фотолитографический процесс (4 часа)**

#### **Тема 1. От паровой обработки до мягкого прогрева. (1 час.)**

Понятие фотолитографии. Фотолитографические процессы. Основные ступени фотолитографии. Фоторезист. Типы фоторезистов. Паровая обработка. Центрифугирование. Мягкий прогрев. Меры качества нанесения фоторезиста. Диагностика и устранение проблем нанесения фоторезиста.

#### **Тема 2. Совмещение и экспозиция (2 час.)**

Элементы оптической литографии. Системы совмещения и экспонирования. Прицельные маркеры. Оптические методы повышения точности совмещения. Меры качества совмещения и экспозиции. Диагностика и устранение проблем совмещения и экспозиции.

#### **Тема 3. Проявление и передовые литографии (1 час.)**

Пост-экспозиционный прогрев. Проявление негативного и позитивного фоторезиста. Методы и параметры проявления. Жесткий прогрев. Контроль проявления. Передовые литографии. Передовые технологии фоторезиста. Меры качества проявления. Диагностика и устранение проблем проявления.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

Рабочей программой учебной дисциплины «Основы технологии и расчета электронной компонентной базы» предусмотрены 98 часов лабораторных работ.

### **1. Проблемы формирования силицидных контактных слоев (6 час.)**

- 1.1. Причины замены материала контактного слоя  $TiSi_2$  в КМОП-технологии на  $CoSi_2$
- 1.2. Проблема потребления приповерхностного слоя кремния при твердофазном силицидобразовании
- 1.3. Влияние естественного оксида кремния на процесс твердофазного силицидобразования
- 1.4. Проблема латерального роста силицида
- 1.5. Особенности поведения легирующей примеси в кремнии при силицидообразовании и последующих термообработках

### **2. Принципы создания диффузионно-барьерных слоев (6 час.).**

- 2.1. Классификация материалов диффузионно-барьерных слоев по механизму действия.
- 2.2. Анализ процесса деградации тонкого слоя в составе многослойной системы.
- 2.3. Критерии выбора материала диффузионно - барьерного слоя.
- 2.4. Некоторые аспекты образования стабильного аморфного материала.

### **3. Технологические возможности перспективных видов эпитаксии (6 час.)**

- 3.1. Достижения молекулярно-лучевой эпитаксии.
- 3.2. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений.
- 3.3. Нетермическая активация эпитаксиальных процессов.
- 3.4. Действие внешнего электрического поля на процесс эпитаксии.
- 3.5. Влияние излучений на процесс эпитаксии.

### **4. Импульсное лазерное осаждение тонких пленок (6 час.)**

- 4.1. Абляция короткими независимыми лазерными импульсами и осаждение пленок. Механизмы, пороговая мощность скорость, глубина.
- 4.2. Кинетика роста пленок при лазерном осаждении.
- 4.3. Осаждение в сверхвысоком вакууме. Скорость осаждения, стехиометрия, однородность, формирование дефектов, огрубление и перемешивание границы раздела, формирование метастабильных фаз.
- 4.3. Осаждение в атмосфере инертного газа. Уменьшение имплантации, изменение скорости осаждения и свойств пленок.
- 4.4. Приложения метода лазерного осаждения

## **5. Высокоаспектное травление кремния (6 час.)**

- 5.1. Мокрое травление
- 5.2. Сухое травление
- 5.3. Достоинства высокоаспектного травления
- 5.4. Параметры высокоаспектного травления
- 5.5. Термодинамика и кинетика высокоаспектного травления

## **6. Эволюция технологии межсоединений в кремниевых ИС (6 час.)**

- 6.1. Этапы эволюции
- 6.2. Металлизация контактов
- 6.3. Отверстия и межсоединительные линии
- 6.4. Интеграция технологий
- 6.5. Причина ограничения быстродействия ИС
- 6.6. Интеграция меди и изоляторов с низким  $k$
- 6.7. Будущее кремниевых межсоединений.

## **7. Воздействие материалов на технологию межсоединений и их надежность (8 час.)**

- 7.1. Технология формирования межсоединений
- 7.2. Технология создания рисунка межсоединений
- 7.3. Воздействие на технологию очистки
- 7.4. Технология металлизации
- 7.5. Надежность медных межсоединений.

7.6. Электромиграция

7.7. Образование полостей

### Лабораторные работы (54 час.)

№ л/р	Наименование и краткое содержание лабораторной работы	Кол-во часов
1	Развитие электронной компонентной базы и электроники в России. Классификация полупроводниковых приборов	6
2	Свойства индивидуальных наночастиц. Углеродные наноструктуры Графит. Графен. Углеродные нанотрубки. Объемные наноструктурные материалы	8
3	Математические модели полупроводниковых приборов. Основные соотношения для расчета полупроводниковых структур	6
3	Расчет биполярных транзисторов, МДП структур, элементов интегральных микросхем	8
4	Практическое занятие: «Разработка топологии печатной платы	8
4	История развития электронных схем. Требования, предъявляемые к конструкции электронных схем. Основные направления современного производства электронной компонентной базы	4
5	Проектирование электронной компонентной базы	4
5	Работа с основными документами ЕСКД. Оформление конструкторской документации	6
	Методы защиты ИС. Влияние климатических факторов на работу электронной аппаратуры	4

### III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «**Основы технологии и расчета электронной компонентной базы**» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

### IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

## 1.

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Текущий контроль	Промежуточная аттестация	
1	Классификация полупроводниковых приборов.	ОПК -4, ПК – 9, 18	знает	Реферат (ПР-1)	зачет, вопросы 2 - 4
			умеет	Реферат (ПР-1)	зачет, вопросы 2 - 4
			владеет	Реферат (ПР-1)	зачет, вопросы 2 - 4
2	Нанoeлектроника – достижения и перспективы. Физические основы нанoeлектроники.	ОПК -4, ПК – 9, 18	знает	Реферат (ПР-2)	зачет, вопросы 9, 26
			умеет	Реферат (ПР-2)	зачет, вопросы 9, 26
			владеет	Реферат (ПР-2)	зачет, вопросы 9, 26
3	Математические модели полупроводниковых приборов. Основные соотношения для расчета полупроводниковых структур.	ОПК -4, ПК – 9, 18	знает	Реферат (ПР-3)	зачет, вопросы 14 – 15, 23 - 25
			умеет	Реферат (ПР-3)	зачет, вопросы 14 – 15, 23 - 25
			владеет	Реферат (ПР-3)	зачет, вопросы 14 – 15, 23 - 25
4	История развития электронных схем. Требования, предъявляемые к конструкции электронных схем. Основные направления современного производства электронной компонентной базы.	ОПК -4, ПК – 9, 18	знает	Реферат (ПР-4)	зачет, вопросы 4, 24, 28, 31 - 32
			умеет	Реферат (ПР-4)	зачет, вопросы 4, 24, 28, 31 - 32
			владеет	Реферат (ПР-4)	зачет, вопросы 4, 24, 28, 31 - 32
5	Проектирование электронной компонентной базы	ОПК -4, ПК – 9, 18	знает	Реферат (ПР-5)	зачет, вопросы 33 - 40
			умеет	Реферат (ПР-5)	зачет, вопросы 33 - 40
			владеет	Реферат (ПР-5)	зачет, вопросы 33 - 40
6	Методы защиты ИС. Влияние климатических факторов на работу электронной аппаратуры	ОПК -4, ПК – 9, 18	знает	Реферат (ПР-6)	зачет, вопросы 7 - 36
			умеет	Реферат (ПР-6)	зачет, вопросы 7 - 36
			владеет	Реферат (ПР-6)	зачет, вопросы 7 - 36

## 2.

№ п/п	Контролируемые темы дисциплины	Коды компетенций	Оценочные средства	
			текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел II. Основные процессы технологии электронной компонентной базы. Производственная чистота. Метрология и дефектоскопия. Обзор вафельной фабрики и стадий изготовления	ОПК-4 ПК-18	ПР-6	Вопросы к экзамену 1-3, 9, 11, 20, 29, 30-33
2	Раздел III. Физико-технологические процессы формирования ИС	ОПК-4, ПК-9,	ПР-6	Вопросы к экзамену 4, 5, 7, 8, 10, 12-15, 24, 25, 28, 34, 35, 38, 39
3	Раздел IV. Фотолитографический процесс	ПК-18, ОПК-4	ПР-6	Вопросы к экзамену 6, 16, 17, 22, 27, 36, 37, 40

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

## V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

*(печатные и электронные издания)*

1. Введение в процессы интегральных микро - и нанотехнологий: учебное пособие для вузов: в 2т /под общ. ред. Ю.Н. Коркишко. М.:БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010-2011. -(Нанотехнологии). Т.1: Физико-химические основы технологии микроэлектроники/ Ю.Д.Чистяков, Ю.П.Райнова.-392с. Режим доступа:

<https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:298095&theme=FEFU>

2. Введение в процессы интегральных микро - и нанотехнологий: учебное пособие для вузов: в 2т /под общ. ред. Ю.Н. Коркишко. М.:БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010-2011. -(Нанотехнологии). Т.2. Технологические аспекты / [М.В.Акуленок, В.М.Андреев, Д.А.Громов и др.]. - 2011. - 253с. Режим доступа:

<https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:298095&theme=FEFU>

3. Громов Д.Г. Металлизация ультрабольших интегральных схем: учебное пособие/ Д.И.Громов, А.И.Мочалов, А.Д. Сулимин, В.И.Шевяков. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, - 2009. - 277с. Режим доступа:

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:277417&theme=FEFU>

4. Барыбин А.А. Физико-технологические основы макро-, микро- и нанoeлектроники: учебное пособие для вузов / А. А. Барыбин, В. И. Томилин, В. И. Шаповалов ; под общ. ред. А. А. Барыбина. - Москва : Физматлит, 2011. -783 с Режим доступа:

<https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:675441&theme=FEFU>

5. Технология СБИС : в 2 кн. кн. 1 / [К. Пирс, А. Адамс, Л. Кац и др.] ; пер. с англ. В. М. Звероловлева [и др.]. Москва : Мир, 1986.404 с. Режим доступа:

<https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:782237&theme=FEFU>

6. Технология СБИС в 2 кн. : кн. 2 / [К. Могэб, Д. Фрейзер, У. Фичтнер и др.] ; пер. с англ. В. Н. Лейкина [и др.] ; под ред. С. Зи. Москва : Мир, 1986.453 с. Режим доступа:

<https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=chamo:782259&theme=FEFU>

### **Дополнительная литература**

*(печатные и электронные издания)*

7. Гатчин Ю.А., Ткалич В.Л., Виволанцев А.С., Дудников Е.А. «Введение в Микроэлектронику». Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. -114с. Режим доступа:

<https://lib.dvfu.ru:8443/lib/item?id=IPRbooks:IPRbooks-65811&theme=FEFU>

8. Pulsed Laser Deposition of Thin Films: Applications-Led Growth of Functional Materials. Robert Eason. ISBN: 978-0-471-44709-2. 682 pages.

Copyright # 2007 John Wiley & Sons, Inc. Режим доступа:

[http://www.fulviofrisone.com/attachments/article/466/Pulsed%20Laser%20Deposition%20Of%20Thin%20Films%20-%20R%20Eason%20\(Wiley,%202007\)%20Ww.pdf](http://www.fulviofrisone.com/attachments/article/466/Pulsed%20Laser%20Deposition%20Of%20Thin%20Films%20-%20R%20Eason%20(Wiley,%202007)%20Ww.pdf)

9. Banqiu Wu, Ajay Kumar, and Sharma Pamarthy. High aspect ratio silicon etch: A review //J. Appl. Phys. 108, 051101 (2010). Режим доступа:

<https://doi.org/10.1063/1.3474652>

10. Xiuling Li. Metal assisted chemical etching for high aspect ratio nanostructures: A review of characteristics and applications in photovoltaics // Current Opinion in Solid State and Materials Science 16, 71 (2012). Режим доступа:

<https://doi.org/10.1016/j.cossms.2011.11.002>

## **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Приступить к освоению дисциплины следует в самом начале учебного семестра. Рекомендуется изучить структуру и основные положения Рабочей программы учебной дисциплины (РПУД). Обратить внимание, что кроме аудиторной работы (лекции, практические занятия) планируется самостоятельная работа, результаты которой влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины. Все аудиторные и самостоятельные задания необходимо выполнять и предоставлять на оценку в соответствии с планом-графиком.

## **Использование материалов учебно-методического комплекса**

Для успешного освоения дисциплины следует использовать содержание разделов рабочей программы дисциплины, лекционного курса, материалов практических занятий, методических рекомендаций по организации самостоятельной работы студентов, глоссария, перечня учебной литературы и других источников информации, контрольно-измерительных материалов (тесты, опросы, вопросы зачета), а также дополнительных материалов.

## **Рекомендации по подготовке к лекционным и практическим занятиям**

Успешное освоение дисциплины предполагает активное участие студентов на всех этапах ее освоения. Изучение дисциплины следует начинать с проработки содержания рабочей программы и методических указаний.

При изучении и проработке теоретического материала студентам необходимо:

- повторить законспектированный на лекционном занятии материал и дополнить его с учетом рекомендованной по данной теме литературы;
- перед очередной лекцией просмотреть конспект предыдущего занятия;
- при самостоятельном изучении темы сделать конспект, используя рекомендованные в РПУД литературные источники. В случае, если возникли затруднения, обратиться к преподавателю в часы консультаций или на практическом занятии.

Основной целью проведения практических занятий является систематизация и закрепление знаний по изучаемой теме, формирование умений самостоятельно работать с дополнительными источниками информации, аргументировано высказывать и отстаивать свою точку зрения.

При подготовке к практическим занятиям студентам необходимо:

- повторить теоретический материал по заданной теме;
- продумать формулировки вопросов, выносимых на обсуждение;

– использовать не только конспект лекций, но и дополнительные источники литературы, рекомендованные преподавателем.

При подготовке к текущему контролю использовать материалы РПУД (Приложение 2. Фонд оценочных средств).

При подготовке к промежуточной аттестации, использовать материалы РПУД (Приложение 2. Фонд оценочных средств).

На самостоятельную работу выносятся подготовка к практическим занятиям.

При подготовке к практическим занятиям необходимо ознакомиться с материалами из основной и дополнительной литературы, выучить основной теоретический материал по теме, при необходимости, воспользоваться литературой на русском языке и/или источниками в информационно-телекоммуникационной сети "Интернет".

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Практические занятия проводятся на материально-технической базе отдела физики поверхности ИАПУ ДВО РАН.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**  
по дисциплине «Основы технологии и расчета электронной  
компонентной базы»

**Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»**

**Форма подготовки очная**

**Владивосток**  
**2018**

## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

1.

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1-3 недели	Подготовка лабораторному занятию : Развитие электронной компонентной базы и электроники в России. Классификация полупроводниковых приборов	3 часа	Защита отчета, форма презентация УО-1
2	4-6 недели	Подготовка лабораторному занятию : Свойства индивидуальных наночастиц. Углеродные наноструктуры Графит. Графен. Углеродные нанотрубки. Объемные наноструктурные материалы	3 часа.	Защита отчета, форма презентация УО-1
3	7-9 недели	Подготовка лабораторному занятию : Математические модели полупроводниковых приборов. Основные соотношения для расчета полупроводниковых структур.	3 часа	Защита отчета, форма презентация УО-1
4	10-12 недели	Подготовка лабораторному занятию : История развития электронных схем. Требования, предъявляемые к конструкции электронных схем. Основные направления современного производства электронной компонентной базы	3 часа	Защита отчета, форма презентации УО-1
5	13-15 недели	Подготовка лабораторному занятию : Проектирование электронной компонентной базы	3 часа	Защита отчета, форма презентации УО-1
6	16-18 недели	Подготовка лабораторному занятию : Методы защиты ИС. Влияние климатических факторов на работу электронной аппаратуры	3 часа	Защита отчета, форма презентации УО-1
Итого			18 часов	

2.

<b>№ п/п</b>	<b>Дата/сроки выполнения</b>	<b>Вид самостоятельной работы</b>	<b>Примерные нормы времени на выполнение</b>	<b>Форма контроля</b>
<b>1</b>	1-2 неделя	работа над рекомендованной литературой	1 час	<b>УО-1</b>
<b>2</b>	2-5 неделя	подготовка к практическим занятиям	2 часа	<b>УО-1</b>
<b>3</b>	6-7 неделя	работа над рекомендованной литературой	1 час	<b>УО-1</b>
<b>4</b>	8-10 неделя	написание доклада	2 часа	<b>УО-3</b>
<b>5</b>	11-12 неделя	подготовка к практическим занятиям	2 часа	<b>УО-1</b>
<b>6</b>	13-18 неделя	подготовки презентации	2 часа	<b>УО-4</b>
<b>7</b>	19-21 неделя	работа над рекомендованной литературой	2 часа	<b>УО-1</b>
<b>ИТОГО</b>			<b>12 часов</b>	

### **Рекомендации по самостоятельной работе студентов**

Самостоятельная работа студентов состоит из подготовки к практическим занятиям, работы над рекомендованной литературой, написания доклада по теме семинарского занятия, подготовки презентаций,

### **Методические указания к выполнению доклада**

#### **Цели и задачи доклада**

Доклад представляет собой краткое изложение проблемы практического или теоретического характера с формулировкой определенных выводов по рассматриваемой теме. Избранная студентом проблема изучается и анализируется на основе одного или нескольких источников. В отличие от курсовой работы, представляющей собой комплексное исследование проблемы, реферат направлен на анализ одной или нескольких научных работ.

*Целями* написания доклада являются:

- развитие у студентов навыков поиска актуальных проблем современного производства ИС;
- развитие навыков краткого изложения материала с выделением лишь самых существенных моментов, необходимых для раскрытия сути проблемы;
- развитие навыков анализа изученного материала и формулирования собственных выводов по выбранному вопросу в письменной форме, научным, грамотным языком.

*Задачами* написания доклада являются:

- научить студента максимально верно передать мнения авторов, на основе работ которых студент пишет свой доклад;
- научить студента грамотно излагать свою позицию по анализируемой в докладе проблеме;
- подготовить студента к дальнейшему участию в научно – практических конференциях, семинарах и конкурсах;
- уяснить для себя и изложить причины своего согласия (несогласия) с мнением того или иного автора по данной проблеме.

### **Основные требования к содержанию доклада**

Студент должен использовать только те материалы (научные статьи, монографии, пособия), которые имеют прямое отношение к избранной им теме. Не допускаются отстраненные рассуждения, не связанные с анализируемой проблемой. Содержание доклада должно быть конкретным, исследоваться должна только одна проблема (допускается несколько, только если они взаимосвязаны). Студенту необходимо строго придерживаться логики изложения (начать с определения и анализа понятий, перейти к постановке проблемы, проанализировать пути ее решения и сделать соответствующие выводы). Реферат доклад заканчиваться выводением выводов по теме.

По своей *структуре* доклад состоит из:

1. Титульного листа (Названия);

2. Введения, где студент формулирует проблему, подлежащую анализу и исследованию;

3. Основного текста, в котором последовательно раскрывается избранная тема. Основной текст доклада предполагает разделение на 2-3 параграфа без выделения глав. При необходимости текст доклада может дополняться иллюстрациями, таблицами, графиками, но ими не следует "перегружать" текст;

4. Заключения, где студент формулирует выводы, сделанные на основе основного текста.

5. Списка использованной литературы. В данном списке называются как те источники, на которые ссылается студент при подготовке доклада, так и иные, которые были изучены им при подготовке доклада.

Объем доклада составляет 10-15 страниц машинописного текста, но в любом случае не должен превышать 15 страниц. Интервал – 1,5, размер шрифта – 14, поля: левое — 3 см, правое — 1,5 см, верхнее и нижнее — 1,5 см.. Страницы должны быть пронумерованы. Абзацный отступ от начала строки равен 1,25 см.

### **Темы докладов**

#### **1. Проблемы формирования силицидных контактных слоев**

- 1.1. Причины замены материала контактного слоя  $TiSi_2$  на  $CoSi_2$  в КМОП-технологии
- 1.2. Проблема потребления приповерхностного слоя кремния при твердофазном силицидобразовании
- 1.3. Влияние естественного оксида кремния на процесс твердофазного силицидобразования
- 1.4. Проблема латерального роста силицида
- 1.5. Особенности поведения легирующей примеси в кремнии при силицидообразовании и последующих термообработках

*Литература: [3], гл.4*

#### **2. Принципы создания диффузионно-барьерных слоев.**

- 2.1. Классификация материалов диффузионно-барьерных слоев по механизму действия.
- 2.2. Анализ процесса деградации тонкого слоя в составе многослойной системы.
- 2.3. Критерии выбора материала диффузионно - барьерного слоя.
- 2.4. Некоторые аспекты образования стабильного аморфного материала.

*Литература: [3], гл.5*

### **3. Технологические возможности перспективных видов эпитаксии**

- 3.1. Достижения молекулярно-лучевой эпитаксии.
- 3.2. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений.
- 3.3. Нетермическая активация эпитаксиальных процессов.
- 3.4. Действие внешнего электрического поля на процесс эпитаксии.
- 3.5. Влияние излучений на процесс эпитаксии.

*Литература: [1], гл.4; [2], гл.3*

### **4. Импульсное лазерное осаждение тонких пленок**

- 4.1. Аблиция короткими независимыми лазерными импульсами и осаждение пленок. Механизмы, пороговая мощность скорость, глубина.
- 4.2. Кинетика роста пленок при лазерном осаждении.
- 4.3. Осаждение в сверхвысоком вакууме. Скорость осаждения, стехиометрия, однородность, формирование дефектов, огрубление и перемешивание границы раздела, формирование метастабильных фаз.
- 4.3. Осаждение в атмосфере инертного газа. Уменьшение имплантации, изменение скорости осаждения и свойств пленок.
- 4.4. Приложения метода лазерного осаждения

*Литература: [8]*

### **5. Высокоаспектное травление кремния**

- 5.1. Мокрое травление
- 5.2. Сухое травление
- 5.3. Достоинства высокоаспектного травления
- 5.4. Параметры высокоаспектного травления

## 5.5. Термодинамика и кинетика высокоаспектного травления

*Литература:* [9], [10]

## **6. Эволюция технологии межсоединений в кремниевых ИС**

### 6.1. Этапы эволюции

### 6.2. Металлизация контактов

### 6.3. Отверстия и межсоединительные линии

### 6.4. Интеграция технологий

### 6.5. Причина ограничения быстродействия ИС

### 6.6. Интеграция меди и изоляторов с низким $k$

### 6.7. Будущее кремниевых межсоединений.

*Литература:* [3], [10]

## **7. Воздействие материалов на технологию межсоединений и их надежность**

### 7.1. Технология формирования межсоединений

### 7.2. Технология создания рисунка межсоединений

### 7.3. Воздействие на технологию очистки

### 7.4. Технология металлизации

### 7.5. Надежность медных межсоединений.

### 7.6. Электромиграция

### 7.7. Образование полостей

*Литература:*[1], гл.4; [2], гл.3; [10]

## **Методические рекомендации для подготовки презентаций**

Общие требования к презентации:

- презентация не должна быть меньше 10 слайдов;
- первый лист – это титульный лист, на котором обязательно должны быть представлены: название доклада; фамилия, имя, отчество автора;
- следующим слайдом должно быть содержание, где представлены основные этапы (моменты) презентации; желательно, чтобы из содержания по

гиперссылке можно перейти на необходимую страницу и вернуться вновь на содержание;

- дизайн-эргономические требования: сочетаемость цветов, ограниченное количество объектов на слайде, цвет текста;
- последними слайдами презентации должны быть глоссарий и список литературы.

### Темы презентаций

1. Проблемы формирования силицидных контактных слоев.
2. Принципы создания диффузионно-барьерных слоев.
3. Технологические возможности перспективных видов эпитаксии.
4. Импульсное лазерное осаждение тонких пленок.
5. Высокоаспектное травление кремния.
6. Эволюция технологии межсоединений в кремниевых ИС.
7. Воздействие материалов на технологию межсоединений и их надежность.

### Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Оценка	50-60 баллов (неуд.)	61-75 баллов (удовл.)	76-85 баллов (хорошо)	86-100 баллов (отлично)
<b>Критерии</b>	<b>Содержание критериев</b>			
<b>Представление</b>	Проблема не раскрыта	Проблема раскрыта не полностью	Проблема раскрыта, но не все выводы обоснованы	Проблема раскрыта, проведен анализ, все выводы обоснованы
<b>Оформление</b>	Больше 4 ошибок	3- 4 ошибки	Не более 2 ошибок	Ошибки отсутствуют
<b>Ответы на дополнительные вопросы</b>	Нет ответов на вопросы	Только ответы на элементарные вопросы	Ответы на вопросы полные и/или частично полные	Ответы на вопросы полные с приведением пояснений

Приложение 2



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
по дисциплине «Основы технологии электронной компонентной базы»  
Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

**Форма подготовки очная**

**Владивосток**  
**2018**

## Паспорт ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		Критерии	Показатели	Баллы
ОПК-4 готовностью применять современные средства выполнения и редактирования изображений и чертежей и подготовки конструкторско-технологической документации	Знает	<ul style="list-style-type: none"> <li>элементы начертательной геометрии и инженерной графики</li> </ul>	учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты	наличие общего представления учебно-научной литературе по основным разделам дисциплины; организационные основы изображения чертежей	60-74
	Умеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>применять программные средства при выполнении и редактировании изображений и чертежей при подготовке конструкторско-технологической документации</li> </ul>	систематизировать справочную и законодательную информацию, полученную при подготовке технологической документации	использовать патентную литературу; пользоваться методическими инструкциями и рекомендациями при планировании и проведении этапов подготовки документации	75-89
	Владеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>современными программными средствами</li> </ul>	современными средствами выполнения и редактирования изображений и чертежей и подготовкой конструкторско-технологической документации	навыками поиска необходимой справочной и законодательной литературы по соответствующим этапам проектной деятельности; навыками использования элементов нормативного и законодательного характера в практической деятельности; умением пользоваться технической документации патентного характера	90-100
ПК-9 способность выполнять работы по технологической	Знает	<ul style="list-style-type: none"> <li>технологии производства материалов и изделий электронной техники;</li> <li>порядок разработки технической документации: технический проект, этапы проектирования</li> </ul>	учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты	методики использования элементов документов нормативного и законодательного характера,	68 - 78

подготовке производства материалов и изделий электронной техники				позволяющие оформлять проектно-конструкторские работы.	
	Умеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>составлять маршрутные карты и технологическую документацию для проведения отдельных операций и процессов сборки изделий;</li> <li>разрабатывать проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы</li> </ul>	пользоваться нормативной ЕСКД для оформления законченной проектно-конструкторской документации.	оформить проектно-конструкторскую документацию на конкретный прибор ЭКБ	72 - 86
	Владеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>навыками выполнения технологических операций по подготовке и проведению технологических процессов при производстве и использовании материалов и изделий электронной техники;</li> <li>методами оценочных расчетов, параметров и характеристик электронных компонентов</li> </ul>	оценочными расчетами параметров и характеристик ЭКБ при оформлении конструкторской документации.	составлением конструкторской документации на определенное изделие ЭКБ с применением расчетных методов	78 - 100
ПК-18 готовность осуществлять регламентную проверку технического состояния оборудования, его профилактический осмотр и текущий ремонт	Знает	<ul style="list-style-type: none"> <li>используемое техническое оборудование;</li> <li>правила техники безопасности и эксплуатации оборудования,;</li> <li>основные компьютерные программы и приложения, необходимые для профессиональной деятельности;</li> <li>основные правила оформления конструкторской и технической документации;</li> <li>основные положения ЕСКД, касающиеся выбранной специфики деятельности;</li> </ul> <p>основные стандарты, технические условия и другие нормативные документы, регламентирующие составление проектов и разработку технической документации в соответствующей сфере</p>	учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты	основные правила оформления конструкторской и технической документации; основные стандарты, технические условия и другие нормативные документы; последовательность контроля, проведения оценки соответствия разрабатываемых проектов и технической документации.	60-74
	Умеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>применять полученные знания при разработке инструкций по эксплуатации</li> <li>используемого технического оборудования и программного обеспечения для обслуживания персонала;</li> <li>использовать на практике положения ЕСКД, касающиеся выбранной специфики деятельности и тематики разрабатываемого проекта;</li> <li>использовать информацию стандартов, технических регламентов и других</li> </ul>	систематизировать справочную и законодательную информацию.	использовать на практике положения ЕСКД; использовать информацию нормативных документов при разработке технической документации; осуществлять контроль соответствия разрабатываемого проекта	75-89

		<p>нормативных документов при разработке технической документации;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•</li> </ul>		нормативным документам.	
	Владеет	<ul style="list-style-type: none"> <li>• современными компьютерными технологиями;</li> <li>• правилами составления технологической документации, необходимой на всех стадиях производственного процесса;</li> <li>• основными приемами и навыками, используемыми в инженерной графике;</li> <li>• на базовом уровне одной из систем разработки чертежей и конструкторской документации (AutoCAD);</li> </ul> <p>основными методами осуществления контроля соответствия разрабатываемого проекта положениям нормативных документов</p>	<p>решением различных задач в области контроля свойств и характеристик с привлечением справочной и законодательной базы;</p> <p>уметь использовать нормативные документы при составлении технической документации.</p>	<p>начальными навыками одной из систем разработки чертежей;</p> <p>навыками использования отдельных положений стандартов, технических регламентов и других нормативных документов;</p> <p>основными методами контроля соответствия проекта требованиям нормативных документов.</p>	90-100

№ п/п	Контролируемые темы дисциплины	Коды компетенций	Оценочные средства	
			текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Основные процессы технологии электронной компонентной базы. Производственная чистота. Метрология и дефектоскопия. Обзор вафельной фабрики и стадий изготовления	ОПК-4 ПК-18	ПР-6	Вопросы к экзамену 1-3, 9, 11, 20, 29, 30-33
2	. Физико-технологические процессы формирования ИС	ОПК-4 ПК-9	ПР-6	Вопросы к экзамену 4, 5, 7, 8, 10, 12-15, 24, 25, 28, 34, 35, 38, 39
3	Фотолитографический процесс	ПК-18, ОПК-4	ПР-6	Вопросы к экзамену 6, 16, 17, 22, 27, 36, 37, 40

## Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели
ОПК-4 готовность применять современные средства выполнения и редактирования изображений и чертежей и подготовки конструкторско-технологической документации	знает (пороговый уровень)	Знает элементы начертательной геометрии и инженерной графики.	Демонстрирует частичное понимание проблемы.	Пр-6 сделана со значительным опозданием и/или большим количеством ошибок. Большинство требований, предъявляемых к заданию выполнены.
	умеет (продвинутый)	Знает элементы начертательной геометрии и инженерной графики. Умеет применять программные средства для выполнения и редактирования изображений и чертежей.	Демонстрирует значительное понимание проблемы.	Пр-6 представлена достаточно полно и в срок, но с некоторыми недоработками. Все требования, предъявляемые к заданию выполнены.
	владеет (высокий)	Знает элементы начертательной геометрии и инженерной графики, основные графические пакеты программ. Умеет применять современные программные средства выполнения и редактирования изображений и чертежей и подготовки конструкторско-технологической документации. Владеет уверенно современными программными средствами.	Демонстрирует полное понимание проблемы.	Пр-6 сделана полностью и сдана в срок. Все требования, предъявляемые к заданию выполнены.
ПК-9 способностью выполнять работы по технологическо	знает (пороговый уровень)	Знает некоторые технологии производства материалов и изделий	Демонстрирует частичное понимание проблемы.	Пр-6 сделана со значительным опозданием и/или большим количеством ошибок. Большинство

й подготовке производства материалов и изделий электронной техники		электронной техники.		требований, предъявляемых к заданию выполнены.
	умеет (продвинутый)	Знает основные технологии производства материалов и изделий электронной техники. Умеет выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники.	Демонстрирует значительное понимание проблемы.	ПР-6 представлена достаточно полно и в срок, но с некоторыми недоработками. Все требования, предъявляемые к заданию выполнены.
	владеет (высокий)	Знает все технологии производства материалов и изделий электронной техники. Умеет составлять маршрутные карты и технологическую документацию для проведения отдельных операций и процессов сборки изделий. Владеет навыками выполнения технологических операций по подготовке и проведению технологических процессов при производстве и использовании материалов и изделий электронной техники.	Демонстрирует полное понимание проблемы.	ПР-6 сделана полностью и сдана в срок. Все требования, предъявляемые к заданию выполнены.
ПК-18 готовность осуществлять регламентную проверку технического	знает (пороговый уровень)	Знает перечень регламентных работ для проверки технического состояния оборудования.	Демонстрирует частичное понимание проблемы.	Пр-6 сделана со значительным опозданием и/или большим количеством ошибок. Большинство требований,

состояния оборудования, его профилактический осмотр и текущий ремонт				предъявляемых к заданию выполнены.
	умеет (продвинутый)	Умеет проверять наличие необходимых документов для осуществления регламентной проверки технического состояния оборудования, его профилактический осмотр и текущий ремонт	Демонстрирует значительное понимание проблемы.	ПР-6 представлена достаточно полно и в срок, но с некоторыми недоработками. Все требования, предъявляемые к заданию выполнены.
	владеет (высокий)	Владеет способностью осуществлять регламентную проверку и способностью заключать договора на проведение регламентных работ	Демонстрирует полное понимание проблемы.	ПР-6 сделана полностью и сдана в срок. Все требования, предъявляемые к заданию выполнены.

### **Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков**

**Текущая аттестация студентов.** Текущая аттестация студентов по дисциплине **«Основы технологии электронной компонентной базы»** проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ (*Приказ ректора от 12.05.2015 №12-13-850*) и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине **«Основы технологии и расчета электронной компонентной базы»** проводится в форме контрольных мероприятий (контрольные задания) по оцениванию фактических результатов обучения студентов осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения контрольных заданий, посещаемость лекций и практических занятий);

- уровень овладения практическими умениями работы, основной и дополнительной литературой;

- результаты самостоятельной работы.

Оценивание результатов освоения дисциплины на этапе текущей аттестации проводится в соответствии с используемыми оценочными средствами и критериями.

### **Критерии оценки контрольных заданий**

*Оценивание практических работ* проводится по критериям:

- полнота и качество выполненных заданий;
- владение методами и приемами компьютерного моделирования;
- качество оформления отчетов, доклада, презентации;
- использование дополнительной литературы, источников Интернет;
- отсутствие фактических ошибок, связанных с поставленной задачей.

**Промежуточная аттестация студентов.** Промежуточная аттестация студентов по дисциплине **«Основы технологии электронной и расчета компонентной базы»** проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Промежуточная аттестация по дисциплине **«Основы технологии и расчета электронной компонентной базы»** проводится в виде зачета, форма зачета - «практические задания по типам», «устный опрос в форме ответов на вопросы». Допуск к зачету возможен только после сдачи отчетов, доклада и презентации.

**Критерии выставления оценки студенту на зачете по дисциплине  
«Основы технологии и расчета электронной компонентной базы»:**

Баллы (рейтингов ой оценки)	Оценка зачета (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
86 -100	«зачтено»	Оценка «зачтено» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал нормативно-правовой литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.
76 - 85	«зачтено»	Оценка «зачтено» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.
61 -75	«зачтено»	Оценка «зачтено» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.
0 -60	«не зачтено»	Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы.

**Оценочные средства для промежуточной аттестации**

**Вопросы к зачету**

1. Проектирование и конструирование полупроводниковых приборов и интегральных микросхем как предмет изучения.
2. Классификация полупроводниковых приборов.  
Конструкторское оформление полупроводниковых приборов.

3. Фотоэлектрические и излучающие полупроводниковые приборы.
4. Классификация интегральных микросхем. Особенности конструкторского оформления ИС, БИС, СВИС.
5. Особенности моделей полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.
6. Технологические особенности создания активных и пассивных элементов микроэлектроники.
7. Современные конструкционные материалы. Методы изоляции элементов интегральных микросхем.
8. Характеристики физических процессов в транзисторных структурах.
9. Свойства индивидуальных наночастиц.
10. Диффузия и дрейф неосновных носителей.
11. Основные соотношения для расчета полупроводниковых структур.
12. Физические параметры и дифференциальные уравнения.
13. Тепловые токи и емкости электронно-дырочных переходов.
14. Модель электронно-дырочного перехода.
15. Математические модели полупроводниковых приборов.
16. Диодные структуры интегральных микросхем.
17. Диод формируемый без эмиттерной диффузии.
18. Диод на эмиттерном переходе транзистора при разомкнутом коллекторе.
19. Диод на коллекторном переходе транзистора при разомкнутом эмиттере.
20. Диод на эмиттерном переходе транзистора с короткозамкнутым коллектором.
21. Диод на коллекторном переходе транзистора с короткозамкнутым эмиттером.

22. Диод на эмиттерном и коллекторном переходах транзистора, включенных параллельно.
23. Моделирование полупроводниковых транзисторов.
24. Транзисторные структуры ИМС на биполярных транзисторах.
25. Расчет и моделирование полевых транзисторов.
26. Углеродные наноструктуры.
27. Одноэлектронный транзистор.
28. Пассивные элементы ИМС.
29. Основы конструирования полупроводниковых приборов.
30. Основы конструирования интегральных микросхем.
31. Определяющие факторы развития, методы проектирования специализированных больших интегральных микросхем (БИС) и сверх больших интегральных микросхем (СБИС).
32. Процесс проектирования SoC.
33. Перспективные методы проектирования.
34. Некоторые аспекты эволюции SoC.
35. Выбор и сравнение вариантов проектирования.
36. Методы изоляции элементов интегральных микросхем.
37. Единая конструкторская документация.
38. Виды конструкторской документации.
39. Технический проект.
- 40.** Этапы работы по проектированию и конструированию полупроводниковых приборов и интегральных микросхем

### **Вопросы к экзамену**

1. Определить различия между аналоговыми и цифровыми устройствами и пассивными и активными компонентами. Объяснить влияние паразитных структур в пассивных компонентах.
2. Объяснить кристаллическую структуру кремния и способы получения монокристаллического кремния.

3. Выделить и описать основные этапы процесса подготовки пластин, начиная от слитка кремния и заканчивая пластиной.
4. Изложить химическую реакцию окисления и описать рост оксида на кремнии
5. Описать многослойную металлизацию. Обсудить приемлемые характеристики тонкой пленки. Назвать и проанализировать три стадии роста пленки.
6. Объяснить основные понятия фотолитографии, включая обзор процессов, поколения критических размеров, световой спектр, разрешение и допуски процесса.
7. Привести и обсудить восемь важных параметров травления. Дать примеры применения сухого травления диэлектриков, кремния и металла.
8. Объяснить цель и применение легирования в производстве СБИС. Обсудить важность дозы и спектра в ионной имплантации.
9. Объяснить основные характеристики КМОП-технологии, в том числе полевого транзистора и КМОП-инвертора.
10. Перечислить и описать шесть категорий металлов, используемые в производстве СБИС. Обсудить требования производительности и дать приложения для каждой категории металла.
11. Назвать и описать пять различных типов загрязнений чистой комнаты, и обсудить проблемы, связанные с каждым типом загрязнения.
12. Изложить три типа оборудования для термических процессов, описать пять частей вертикальной печи, и дать отличительные признаки быстроподъемной вертикальной печи.
13. Описать пленку оксида кремния для полупроводникового производства, включая его атомную структуру, как она используется, ее преимущества и недостатки. Объяснить селективное окисление и дать два примера.

14. Перечислить и описать восемь основных этапов химического осаждения из паровой фазы, в том числе различные типы химических реакций. Описать, чем ограничены CVD реакции, и объяснить динамику реакции и эффект легирования CVD пленок.
15. Объяснить преимущества использования медной металлизации в производстве СБИС. Описать проблемы реализации медной металлизации.
16. Описать фоторезист и обсудить его физические свойства. Обсудить химию и применение обычных фоторезистов *I-линии*.
17. Перечислить и описать восемь основных шагов по фотолитографии. Объяснить подготовку поверхности пластины для фотолитографии.
18. Объяснить достоинства травления высокоплотной плазмой и обсудить четыре типа реакторов высокоплотной плазмы.
19. Обсудить принципы и процесс термической диффузии примеси. Объяснить отжиг и каналирование в ионной имплантации.
20. Описать различные аспекты возможностей ультраочистки чистой комнаты: фильтрование, электростатическая разгрузка, ультрачистая вода и рабочие газы.
21. Назвать химию двух стандартных методов влажной очистки, объяснить тип загрязнений, удаляемых каждым и обсудить модификации влажной очистки и альтернативы.
22. Перечислить и объяснить важнейшие аспекты оптики для оптической литографии. Описать сетку, объяснить ее изготовление и использование в микролитографии.
23. Привести и описать четыре различные альтернативные литографии, в том числе проблемы внедрения в производство каждой из них.
24. Объяснить сухое травление, включая его преимущества и обсудить, как оно происходит. Привести и описать системы оборудования для семи реакторов сухого травления.

25. Представить обзор ионной имплантации, в том числе его преимуществ и недостатков. Перечислить и описать пять основных подсистем ионного имплантора.
26. Описать последовательность технологических операций для технологии «*dual-damascene*».
27. Описать и показать преимущества передового резистивного процесса DESIRE. Указать причины необходимости жесткого прогрева после проявления резиста.
28. Предоставить обзор различных методов осаждения пленок. Обсудить эпитаксию и три различных метода осаждения эпитаксиального слоя.
29. Привести семь источников загрязнений в чистой комнате и описать, как каждый из них влияет на чистоту пластины. Интерпретировать и использовать номер класса для качества воздуха в чистой комнате
30. Обсудить основные дефекты в кристалле кремния.
31. Объяснить базовые характеристики КМОП технологии, включая полевой транзистор и КМОП-инвертор. Объяснить влияние паразитных транзисторов и их последствия для эффекта защелкивания в КМОП.
32. Дать классификацию и области использования различных химических реактивов в полупроводниковом производстве.
33. Объяснить, как устроена современная рабочая станция и вклад микрооборудования в уменьшение загрязнений. Описать различные типы оборудования влажной очистки, и назвать какой вклад в чистоту пластины вносит каждый из них.
34. Объяснить, что такое быстрый термический процессор, его использование и конструкцию.
35. Описать различные типы систем осаждения CVD, объяснить, как функционирует оборудование, и обсудить преимущества/недостатки конкретного метода для пленочных приложений.

- 36.Перечислить и описать восемь основных шагов по фотолитографии.  
Обсудить цель мягкого прогрева и объяснить способ его осуществления.
- 37.Объяснить цель совмещения и экспозиции в фотолитографии.  
Обсудить методы оптических аксессуаров для субволновой литографии.
- 38.Описать физику распыления и обсудить различные инструменты и приложения распыления. Преимущества и недостатки распыления.
- 39.Объяснить значение диэлектрических материалов для технологии чипа, давая примеры применения.
- 40.Описать химию и преимущества глубокого УФ резиста, включая химически усиленные резисты.

### **Задания к контрольным работам**

#### **Задания к контрольной работе №1**

1. Развитие электронной компонентной базы в России.
2. Проектирование электронной компонентной базы.
3. Методы формирования рисунка топологии элементов интегральных схем.
4. Материалы подложек и пассивных элементов.
5. Расчет пленочных пассивных элементов.
6. Методы защиты интегральных схем.
7. Влияние климатических факторов на работу электронной аппаратуры.

#### **Задания к контрольной работе №2**

1. Работа с основными техническими документами.
2. Работа со стандартами ЕСКД.
3. Работа с электронными пакетами проектирования технической документации.

4. Структура ИС приведенных образцов.
5. Оформление проектной документации.
6. Расчет элементов толсто пленочных элементов ИС.
7. Проектирование наноэлементов магнитной спинтроники.

Задания к контрольной работе №3

1. Математические модели полупроводниковых приборов.
2. Углеродные наноструктуры.
3. Перспективные методы проектирования.
4. Одноэлектронный транзистор.
5. Виды конструкторской документации.
6. Методы изоляции элементов интегральных микросхем.
7. Процесс проектирования SoC.