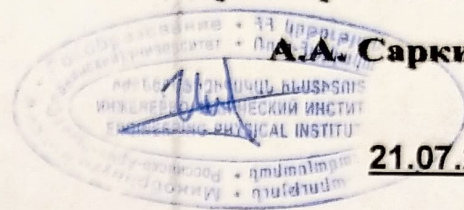


# ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ) УНИВЕРСИТЕТ

Составлен в соответствии с  
государственными требованиями к  
минимуму содержания и уровню  
подготовки выпускников по  
направлению **11.03.03**  
Конструирование и технология  
электронных средств и Положением  
«Об УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института

**А.А. Саркисян**



**21.07.2023**

## Инженерно-физический институт

Кафедра: Технология материалов и структур электронной техники

Автор: *Доцент, к.т.н., Геворкян Владимир Арамович*

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Дисциплина: Б1.В.ДВ.05.02 Проектирование и технология полупроводниковых  
средств

Направление: 11.03.03 «Конструирование и технология электронных  
средств»

ЕРЕВАН 2023

## Структура и содержание УМКД

### 1. Аннотация

#### *1.1. Выписка из ФГОС ВПО РФ по минимальным требованиям к дисциплине*

В результате изучения курса лекций по предмету «Проектирование и технология полупроводниковых средств» студент должен

#### **знать**

тенденции и перспективы развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники;

элементный базис интегральных схем: эквивалентные модели и вольтамперные характеристики биполярных и полевых транзисторов, диодов, резисторов и конденсаторов, реализованных в интегральном исполнении, а также схемотехнические решения функциональных базовых элементов, используемых для реализации цифровых и аналоговых схем; методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации электронной компонентной базы.

#### **уметь**

проектировать базовые электронные элементы, выполнять параметрическую оптимизацию с учетом влияния дестабилизирующих факторов для обеспечения характеристик и параметров, соответствующих техническому заданию; разрабатывать физические и математические модели приборов и устройств электроники и нанoeлектроники;

#### **владеть**

методами проектирования электронной компонентной базы и технологических процессов электроники и нанoeлектроники; методами математического моделирования технологических процессов с целью их оптимизации;

#### *1.2. Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности (направления)*

Данная дисциплина взаимосвязана с такими дисциплинами как микро- и нанoeлектроника, технология полупроводниковых материалов и приборов, схемотехника.

#### *1.3. Требования к исходным уровням знаний, умений и навыков студентов для прохождения дисциплины (что должен знать, уметь и владеть студент для прохождения данной дисциплины)*

Студент должен **знать** основы твердотельной электроники, тенденции и перспективы развития микро- и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники; элементный базис интегральных схем, специальные вопросы технологии микроэлектроники в объеме стандартных курсов по ГОС ВПО бакалавриата данного направления; методы математического моделирования технологических процессов с целью их оптимизации, **уметь** составлять алгоритм решения математической модели, **владеть** компьютерной программой на каком либо языке программирования, визуализировать результаты теоретических расчетов.

#### ***1.4. Предварительное условие для прохождения (дисциплины, изучение которых является необходимой базой для освоения данной дисциплины)***

Общий курс физики, микроэлектроника, наноэлектроника, технология полупроводниковых материалов и приборов.

## **2. Содержание**

### ***2.1. Цели и задачи дисциплины***

#### *Цель преподавания дисциплины:*

Основная цель - дать представления об основных концепциях проектирования и технологии интегральных схем и систем, а также всех процедур, лежащих в основе изготовления элементной базы современной электроники, подготовить слушателя данного курса к дальнейшему изучению специальной литературы по отдельным вопросам данной области и к технически грамотному проектированию и разработке электронной компонентной базы.

Учебная программа ориентирована на подготовку высококвалифицированных кадров в области современных проблем полупроводниковой электроники.

#### *Учебная задача:*

Формирование специальных знаний в области физико-технологического проектирования как неотъемлемой и обязательной части всего маршрута проектирования.

В задачи входят: рассмотрение общих вопросов физико-технологического проектирования; конструктивно-технологические особенности проектирования базовых элементов; исследование проблем однородности и воспроизводимости электрических параметров микросхем; изучение различных видов контроля технологических слоев и физической структуры; общие характеристики правил проектирования.

Обучение студентов основным аспектам проектирования интегральных схем и систем, ознакомление с общими концепциями в области физико-технического проектирования, включая основные проектные процедуры - структурный синтез, составление и анализ математической модели, параметрическая оптимизация и статистический анализ.

Изучение и освоение типовых базовых технологических процессов производства микроэлектронных компонентов и устройств с использованием современных методов моделирования.

Знание этих вопросов позволит создавать сложнейшие электронные системы, содержащие миллионы электронных компонентов.

### ***2.2. Требования к уровню освоения содержания дисциплины***

После изучения дисциплины студент должен:

- ***знать***

тенденции и перспективы развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники;

элементный базис интегральных схем: эквивалентные модели и вольтамперные характеристики биполярных и полевых транзисторов, диодов, резисторов и конденсаторов, реализованных в интегральном исполнении, а также схмотехнические решения функциональных базовых элементов, используемых для реализации цифровых и аналоговых схем; методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации

электронной компонентной базы; методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации электронной компонентной базы;

- **уметь**

проектировать базовые электронные элементы, выполнять параметрическую оптимизацию с учетом влияния дестабилизирующих факторов для обеспечения характеристик и параметров, соответствующих техническому заданию; применять полученные знания для проектирования и расчетов характеристик современных приборов, использовать стандартную терминологию, определения, обозначения и единицы измерения физических величин;

- **иметь** представление об основных путях развития методов создания, проектирования, конструирования и модернизации приборов электроники ;

- **владеть** методами проектирования электронной компонентной базы и технологических процессов электроники и наноэлектроники; методами математического моделирования технологических процессов с целью их оптимизации;

### **2.3. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и кредитах)**

#### **2.3.1. Объем дисциплины и виды учебной работы**

Виды учебной работы	Всего, в акад. часах
<b>1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:</b>	<b>108</b>
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	<b>52</b>
1.1.1. Лекции	<b>34</b>
1.1.2. Практические занятия	<b>18</b>
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	<b>56</b>
1.2.1. Подготовка к практическим занятиям	<b>56</b>
<b>Итоговый контроль</b>	Зачет

### 2.3.2. Распределение объема дисциплины по темам и видам учебной работы

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекции (ак. часов)	Практ. Занятия (ак. Ч.)
<b>Модуль 1. Принципы проектирования и технологии микроэлектронных компонентов</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>10</b>
<b>Введение</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>Раздел 1. Общая характеристика электронной компонентной базы</b>	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>6</b>
Тема 1.1. Классификация электронных схем (ЭС), характеристики и параметры.	5	3	2
Тема 1.2. Разновидности, структура , конструкции, характеристики ЭС.	5	3	2
Тема 1.3. Статические и динамические характеристики компонентов ИС.	5	3	2
<b>Раздел 2. Пассивные и активные элементы интегральных схем (ИС )</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>4</b>
Тема 2.1. Формирование пассивных элементов в ИС.	4	3	1
Тема 2.2. Формирование активных элементов в ИС.	4	3	1
Тема 2.3. Эквивалентные схемы и уравнения ВАХ диодов, транзисторов, резисторов, конденсаторов.	6	4	2
<b>Модуль 2. Вопросы проектирования и моделирования приборов и ИС</b>	<b>22</b>	<b>14</b>	<b>8</b>
<b>Раздел 3. Современные возможности проектирования и моделирования приборов и ИС.</b>	<b>14</b>	<b>9</b>	<b>5</b>
Тема 3.1. Общая характеристика процесса проектирования и технологии электронной компонентной базы.	5	3	2
Тема 3.2. Основные технологические процессы изготовления электронной компонентной базы.	5	3	2
Тема 3.3. Маршруты, методы и этапы проектирования активных и пассивных компонентов и устройств.	4	3	1
<b>Раздел 4. Моделирование и расчет характеристик микроэлектронных компонентов и устройств.</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>3</b>
Тема 4.1. Типовые базовые технологические процессы производства компонентов и устройств.	6	4	2
Тема 4.2. Современные возможности по проектированию, технологии и моделированию приборов и ИС, фотошаблонов и печатных плат.	6	4	2
<b>Раздел 5. Заключение</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Мировые тенденции развития микро- и нано- электроники.</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>ИТОГО:</b>	<b>52</b>	<b>34</b>	<b>18</b>

### **2.3.3. Содержание разделов и тем дисциплины**

#### **Введение**

#### **Раздел 1. Классификация электронных схем (ЭС), характеристики и параметры**

Тема 1.1. Общая характеристика электронной компонентной базы

Тема 1.2. Разновидности, структура, конструкции, характеристики ЭС

Тема 1.3. Статические и динамические характеристики компонентов ИС.

#### **Раздел 2. Пассивные и активные элементы интегральных схем (ИС )**

Тема 2.1. Формирование пассивных элементов в ИС

Тема 2.2 Формирование активных элементов в ИС

Тема 2.3. Эквивалентные схемы и уравнения ВАХ диодов, транзисторов, резисторов, конденсаторов

#### **Раздел 3. Современные возможности проектирования и моделирования приборов и ИС**

Тема 3.1. Общая характеристика процесса проектирования и технологии электронной компонентной базы.

Тема 3.2. Основные технологические процессы изготовления электронной компонентной базы

Тема 3.3. Маршруты, методы и этапы проектирования активных и пассивных компонентов и устройств

#### **Раздел 4. Моделирование и расчет характеристик микроэлектронных компонентов и устройств**

Тема 4.1. Типовые базовые технологические процессы производства компонентов и устройств

Тема 4.2. Современные возможности по проектированию, технологии и моделированию

#### **Раздел 5. Заключение**

Мировые тенденции развития микро- и нано- электроники.





### 3. Теоретический блок

#### 3.1. Материалы по теоретической части курса

##### 3.1.1. Учебники

1. Казённов Г.Г. Основы проектирования интегральных схем и систем. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005.
2. Казённов Г.Г., Соколов А.Г. Основы построения САПР и АСТПП. – М.: Высшая школа, 1989 (учебник).
3. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Т 1,2. – М.: Мир, 1984.

##### 3.1.2. Учебные пособия

4. Щемелинин В.М.. Автоматизация топологического проектирования БИС. – М.: МИЭТ, 2001. Ермаков О. Прикладная оптоэлектроника. – М.: Техносфера, 2004.
5. Ульман Дж. Д. Вычислительные аспекты СБИС. – М.: Радио и связь, 1990.
6. Щука А.А. Электроника. Санкт-Петербург, - БХВ-Петербург.: 2006.
7. Уилкинсон, Барри. Основы проектирования цифровых схем : Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004.
8. Кар Дж. Проектирование и изготовление электронной аппаратуры: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986.
9. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учеб.пособие для вузов. -М.: Лаборатория Базовых знаний, 2001.
10. Чистяков Ю.Д. , Райнова Ю.П. Введение в процессы интегральных микро-и нанотехнологий: учебное пособие для вузов. Т.1./под общ. Ред. Ю.Н. Коркишко.- М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.
11. Акуленок М.В., Андреев В.М. и др. Введение в процессы интегральных микро-и нанотехнологий : учебное пособие для вузов. Т.2./под общ. Ред. Ю.Н. Коркишко.- М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011.
12. Ефимов И.Е., Козырь И.Я. Основы микроэлектроники: учебное пособие для высшей школы. – СПб, Лань, 2008.
13. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: учеб. для вузов / К. И. Билибин, А. И. Власов, Л. В. Журавлева и др.; ред. В. А. Шахнов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 528 с.
14. Сарафанов А. В. Основы проектирования электронных средств: Техническое задание. Формирование и анализ: учеб. пособие / А. В. Сарафанов, С. И. Трегубов; Краснояр. гос. техн. ун-т. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. – 140 с.



15. Кофанов Ю. Н. Автоматизация проектирования РЭС. Топологическое проектирование печатных плат: учеб. пособие / Ю. Н. Кофанов, А. В. Сарафанов, С. И. Трегубов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 2001. – 220 с.
16. Пирогова Е. В. Проектирование и технология печатных плат: учеб. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. – 560 с. (Высшее образование)
17. Ненашев А. П. Конструирование радиоэлектронных средств: учеб. для радиотехнич. спец. вузов / А. П. Ненашев. – М.: Высш. шк., 1990. – 432 с.
18. Князев А. Д. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости / А. Д. Князев, Л. Н. Кечнев, Б. В. Петров. – М.: Радио и связь, 1989. – 222 с.
19. Медведев А. М. Технология производства печатных плат: монография / А. М. Медведев. – М.: Техносфера, 2005. – 358 с.
20. Билибин К. И. Конструкторско – технологическое проектирование электронной аппаратуры: учеб. для вузов / К. И. Билибин, А. И. Власов, Л. В. Журавлева и др.; ред.: В.А. Шахнов. - М.: Изд – во МГТУ им. Баумана, 2002. – 527 с..

### **3.1.3. Кратки конспект лекций (краткие аннотации по каждой теме)**

#### **Введение.**

Предмет дисциплины и ее задачи. Основные концепции проектирования и технологии интегральных схем и систем, а также все процедуры, лежащие в основе изготовления элементной базы современной электроники.

В задачи входят: рассмотрение общих вопросов физико-технологического проектирования; конструктивно-технологические особенности проектирования базовых элементов; исследование проблем однородности и воспроизводимости электрических параметров микросхем; изучение различных видов контроля технологических слоев и физической структуры; общие характеристики правил проектирования. Мировые тенденции развития микро- и нано - электроники.

#### **Раздел 1. Общая характеристика электронной компонентной базы и ИС.**

**Тема 1.1.** Классификация электронных схем (ЭС), характеристики и параметры.

Классификация электронных схем (ЭС) по технологии изготовления, схемотехнической реализации и функциональному назначению. Функциональные, измеряемые, режимные и технико-экономические параметры ЭС. Передаточные характеристики ЭС.

**Тема 1.2.** Разновидности, структура, конструкции, характеристики ИС.

Особенности интегральных схем (ИС) как нового типа электронных приборов.

Классификация ИС и параметры. Связь между измеряемыми и основным функциональными параметрами.

Классификация параметров интегральных схем.

**Тема 1.3.** Статические и динамические характеристики компонентов ИС.

Элементы ИС. Изоляция элементов. Интегральные биполярные и МДП транзисторы, диоды и их разновидности. Статические и динамические характеристики ИС. Методика определения параметров.

Элементы ИС на полупроводниках группы АзВ<sub>5</sub> и элементы пленочных ИС.

**Раздел 2. Пассивные и активные элементы интегральных схем (ИС).**

**Тема 2.1.** Формирование пассивных элементов в ИС.

Пассивные компоненты ИС: резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, их конструкции и основные параметры. Конструктивно-технологические особенности и их использование в микросхемах. Стандартный маршрут изготовления.

**Тема 2.2.** Формирование активных элементов в ИС.

Активные компоненты ИС: диоды, транзисторы, стабилитроны, варикапы. Разновидности, структура, конструкции, характеристики. Микросхемы и их конструктивно-технологические разновидности (ТТЛ, ТТЛШ, КМОП).

**Тема 2.3.** Эквивалентные схемы и уравнения ВАХ диодов, транзисторов, резисторов, конденсаторов.

Эквивалентные модели и вольтамперные характеристики биполярных транзисторов, диодов, резисторов и конденсаторов, реализованных в интегральном исполнении, а также схемотехнические решения в различных схемах.

**Раздел 3. Современные возможности проектирования и моделирования приборов и ИС.**

**Тема 3.1.** Общая характеристика процесса проектирования и технологии.

Методология проектирования интегральных схем, в том числе больших интегральных схем (БИС). Общие принципы проектирования ИС и систем – декомпозиция и иерархический принцип проектирования по этапам.

Классификация методов проектирования: по способам организации выполнения проектных процедур (экспериментальные и теоретические) и по степени автоматизации выполнения проектных процедур (автоматизированные и автоматические).

**Тема 3.2. Основные технологические процессы изготовления электронной компонентной базы.**

Нанесение и модификация материалов, удаление материалов и получение заданной конфигурации технологических структурных элементов микросхем, в том числе полупроводниковая технология, пленочная технология, микролитография, технология изготовления, сборки и монтажа конструктивно-технологических элементов ЭС.

**Тема 3.3.** Маршруты, методы и этапы проектирования активных и пассивных компонентов и устройств.

Наиболее распространенные в практике методы проектирования. Восходящее и нисходящее проектирование.

Классификация методов проектирования. Макетирование. Физическое моделирование. Математическое моделирование. Особенности проектирования ИС.

Современные возможности по проектированию и моделированию приборов и интегральных схем.

#### **Раздел 4. Моделирование и расчет характеристик микроэлектронных компонентов и устройств.**

**Тема 4.1.** Типовые базовые технологические процессы производства компонентов и устройств.

Оптимизация параметров технологического процесса для получения заданной физической структуры; оптимизация физической структуры и топологии биполярного или МОП - транзистора при наложении ограничений на его параметры; расчёт характеристик, параметров металлизированных внутрисхемных соединений (с учетом их распределенного или сосредоточенного характера) и их взаимное влияние.

**Тема 4.2.** Современные возможности по проектированию, технологии и моделированию приборов и ИС, фотошаблонов и печатных плат.

Современные достижения в области конструирования и технологии интегральных микросхем. Топологическое проектирование. Разработка топологии ИС. Правила проектирования топологии Мида - Конвей. Синтез топологии, проектирование фотошаблонов и изготовление печатных плат . Проверка соответствия топологии электрической схеме. Экстракция. Диагностика и исправление ошибок проектирования.

#### **Раздел 5. Заключение**

*Мировые тенденции развития микро- и nano- электроники.*

#### **4. Практический блок**

По учебной программе не предусмотрено.

#### **5. Материалы по оценке и контролю знаний**

**5.1.** Контроль знаний студентов осуществляется путем контрольных вопросов для самостоятельной работы.

Образцы контрольных вопросов для самоконтроля.

- 1.Что такое интегральная схема?
- 2.В чём состоят основные преимущества приборов, выполненных на ИС, по сравнению с приборами, выполненными на дискретных схемах?
- 3.Дайте классификацию ИС.
- 4.Как характеризуется функциональная сложность ИС?
- 5.Как характеризуют уровень технологии изготовления ИС?

6. Каким образом в ИС достигается высокая надежность?
7. Каковы особенности схемотехнических решений в микроэлектронике?
8. В чём сущность группового метода производства?
9. Почему для изготовления большинства полупроводниковых приборов используются монокристаллические материалы?
10. Перечислите основные технологические операции получения монокристаллического кремния.
11. Для чего при производстве ИС на монокристаллических подложках выращивают эпитаксиальные слои кремния?
12. Назовите основные операции технологического процесса изготовления ИС?
13. Какие способы окисления кремния вам известны? В чем их принципиальные отличия?
14. Как распределяются примеси при ионной имплантации? Какие факторы
15. Почему разрешающая способность литография зависит от длины волны источника экспонирования?
16. Какие методы нанесения тонких плёнок металлов и диэлектриков вам знакомы? В чем их принципиальные отличия?
17. Какие металлы и почему используются в качестве подслоя при нанесении металлических плёнок?
18. Как при изготовлении проводников ИС избежать образования р-п переходов и барьеров Шоттки?
19. Чем обусловлены максимально достижимые пределы миниатюризации проводников ИС?
20. Какие основные методы изоляции элементов вы знаете? В чем их принципиальные достоинства и недостатки?
21. В каком направлении продолжается прогресс в разработке методов изоляции элементов?
22. Нарисуйте несколько вариантов диодного включения транзисторов.
23. Какие структуры используются в качестве конденсаторных? Что ограничивает предельные параметры полупроводниковых конденсаторов?
24. Можно ли изготовить по технологии кремниевых ИС катушки индуктивности? Какого порядка величины и добротности можно изготовить индуктивности по тонкопленочной и толстопленочной технологии?
25. Какие реализуются логические функции И-НЕ и ИЛИ-НЕ в транзисторно -транзисторной логике?

## **6. Методический блок**

### **6.1. Преподавание данного курса основывается на:**

- Проведение лекционных занятий согласно тематическому плану;
- Контроль усвоенного материала;
- Организация самостоятельной работы студента.

В качестве основной образовательной технологии при изучении дисциплины выбрана подача учебного материала в виде лекций.

Данный подход является обоснованным, потому что изучаемая дисциплина изобилует большим количеством специальных терминов и понятий, выстроенных в последовательную логическую цепочку.

**Чтение лекций** подчиняется концептуально-интерпретирующей тенденции. На лекциях в основном осуществляется обзор и анализ различных вопросов проектирования и технологии изготовления компонентной базы электроники.

Лекционный курс построен таким образом, что сведения о классических процессах в технологии даются в виде ссылок на авторские учебники и учебные пособия. Основной задачей является систематизация материала и обучение студента умению ориентироваться в нем. Такой подход стимулирует самостоятельную работу студента по освоению данного учебного курса.

Тип проведения лекций зависит от пройденного материала лекционного курса. Изучение каждого раздела начинается с «Проблемной лекции», которая призвана постановить задачу, которую в ходе изложения материала необходимо решить. На лекции используются схемы, рисунки, чертежи и т.п., к подготовке которых привлекаются сами обучающиеся.

Усвоение материала студентами контролируется путем вопросов по отдельным разделам дисциплины, а также путем количественных подсчетов коэффициента активности студента на лекции.

**6.2. При организации внеаудиторной самостоятельной работы** по данной дисциплине используются следующие ее формы:

- подготовка и написание кратких сообщений для выступления на занятиях (не более 5 минут).
- выполнение домашних заданий разнообразного характера. Это может быть: подбор и изучение литературных источников; подбор иллюстративного и описательного материала по отдельным разделам курса с использованием различных источников, в том числе и сети Интернет.
- выполнение индивидуальных заданий, направленных на развитие у студентов самостоятельности и инициативы. Индивидуальное задание может получать как каждый студент, так и инициативная группа студентов.