

**ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ)
УНИВЕРСИТЕТ**

Составлен в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по направлению 11.04.04 Электроника и наноэлектроника и Положением «Об УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:



Инженерно-физический институт

Кафедра Технологии материалов и структур электронной техники

Автор: Профессор, д.т.н., Петросян Олег Арутюнович

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Дисциплина: Б1.О.02 «Проектирования и технологии электронной компонентной базы»

Направление: 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»

**Основная образовательная программа магистратуры:
Микроэлектронные схемы и системы**

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 электронной компонентной базы» 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 схемотехнические

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
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	108
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	34
1.1.1. Лекции	18
1.1.2. Практические занятия	16
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	74
1.2.1. Подготовка к практическим занятиям и к зачету	74
Итоговый контроль (экзамен, зачет, диф. зачет - указать)	зачет

2.3.2. Распределение объема дисциплины по темам и видам учебной работы

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекции (ак. часов)	Практ. Зан. (ак. часов)
Модуль 1. Принципы проектирования и технологии микроэлектронных компонентов	18	10	8
Введение	1	1	
Раздел 1. Общая характеристика электронной компонентной базы	9	5	4
Тема 1.1. Классификация электронных схем (ЭС), характеристики и параметры.	2	1	1
Тема 1.2. Разновидности, структура, конструкции, характеристики ЭС.	2	1	1
Тема 1.3. Статические и динамические характеристики компонентов ИС.	3	2	1
Тема 1.4. Микросхемы и их конструктивно-технологические разновидности.	2	1	1
Раздел 2. Пассивные и активные элементы интегральных схем (ИС)	8	4	4
Тема 2.1. Формирование пассивных элементов в ИС.	2	1	1
Тема 2.2. Формирование активных элементов в ИС.	2	1	1
Тема 2.3. Эквивалентные схемы и уравнения ВАХ диодов, транзисторов, резисторов, конденсаторов.	4	2	2
Модуль 2. Вопросы проектирования и моделирования приборов и ИС	15	7	8
Раздел 3. Современные возможности проектирования и моделирования приборов и ИС.	8	4	4
Тема 3.1. Общая характеристика процесса проектирования и технологии электронной компонентной базы.	2	1	1
Тема 3.2. Основные технологические процессы изготовления электронной компонентной базы.	2	1	1
Тема 3.3. Маршруты, методы и этапы проектирования активных и пассивных компонентов и устройств.	4	2	2
Раздел 4. Моделирование и расчет характеристик микроэлектронных компонентов и устройств.	7	3	4
Тема 4.1. Типовые базовые технологические процессы производства компонентов и устройств.	2	1	1
Тема 4.2. Проектирование и моделирование технологического процесса формирования структуры полупроводникового прибора.	2	1	1

Тема 4.3. Моделирование кремниевых приборов.	3	1	2
Раздел 5. Заключение Тенденции развития микро- и нано- электроники.	1	1	
ИТОГО:	36	18	18

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.

Тема 1.4. Микросхемы и их конструктивно -технологические разновидности.

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. Проектирование и моделирование технологического процесса формирования структуры полупроводникового прибора

Тема 4.3. Моделирование кремниевых приборов.

Раздел 5. Заключение

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 / Г. Г. Казённов. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. - 295 с.
2. Красников Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов. Москва: Техносфера, 2011. - 800 с.
3. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники / И.П. Степаненко. – М. : Л аб. Базовых знаний , 2004. – 488 с.

3.1.2. Учебные пособия

4. Щемелинин В.М.. Автоматизация топологического проектирования БИС. – М.: МИЭТ, 2001. Ермаков О. Прикладная оптоэлектроника. – М.: Техносфера, 2004.
5. Барыбин А.А., Сидоров В.Г. Физико-технологические основы электроники.- СПб.: Лань, 2001.- 272 с..
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. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых устройств. М., издательский дом “Додэка-XXI”, 2007, 528с.
9. В.Razavi. Fundamentals of microelectronics. Previu edition.2006.- 883 p.
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. J.Baker. CMOS circuit. Desine, layout and simulation.Third edition. IEEE Press,2010. – 1212 p.

15. Громов Д. Г. Металлизация ультрабольших интегральных схем: учебное пособие / Д. Г. Громов, А. И. Мочалов, А. Д. Сулимин, В. И. Шевяков. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 277 с.
16. Жан М. Рабаи, Ананта Чандракасан, Боривож Николич. Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования. Москва, Санкт-Петербург. Киев. 2007. - 894с.
17. Денисенко В.В. Компактные модели МОП-транзисторов для SPICE в микро- и нанoeлектронике. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 408 с.
18. Технология интегральной электроники: учебное пособие. Л.П. Ануфриев, С.В. Бордусов, Л.И. Гурский и др. / Под общ. ред. А.П. Достанко и Л.И. Гурского. – Минск: «Интегралполиграф», 2009. – 379 с.
19. 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..
20. Технология, конструкции методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: ч.1/М.А.Королев, Т.Ю. Крупкина, М.А. Ревелева; под общей ред. Ю.А. Чаплыгина. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. - 397 с.
21. Технология, конструкции методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: ч.2/М.А.Королев, Т.Ю. Крупкина, М.А. Ревелева; под общей ред. Ю.А. Чаплыгина. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 422 с.
22. Белоус Л.И., Емельянов В.А., Сякерский В.С. Проектирование интегральных микросхем с пониженным энергопотреблением. Минск. Интегралполиграф. 2009. - 315 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; 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 и передаточные характеристики ЭС.

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

Особенности интегральных схем (ИС). Классификация ИС и параметры. 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.

Тема 1.4. Микросхемы и их конструктивно-технологические разновидности.

Аналоговые, цифровые и аналого-цифровые ИС. Преобразование цифровых сигналов. Основные логические операции, Способы представления логических функций и их реализация на базе элементов И - НЕ, ИЛИ-НЕ, НЕ. Методы оптимизации логических выражений.

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

Тема 2.1. Формирование пассивных элементов в ИС.

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

Тема 2.2. Формирование активных элементов в ИС.

Активные компоненты ИС: диоды, транзисторы. 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 транзисторов, диодов, резисторов и конденсаторов.

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

Тема 3.1. Общая характеристика процесса проектирования и технологии.

Методология проектирования интегральных схем. Общие принципы проектирования ИС.

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. Проектирование и моделирование технологического процесса формирования структуры полупроводникового прибора.

Вопросы физико-технологического проектирования; конструктивно- технологические особенности проектирования. Мониторинг производства и особенности проектирования ИС. Влияние исходных материалов, технологических сред и оборудования на параметры полупроводниковых приборов. Физико-технологическое моделирование в общем маршруте проектирования микросхем.

Тема 4.3. Моделирование кремниевых приборов.

Моделирование полупроводниковых приборов на основе кремния.

Раздел 5. Заключение

Тенденции развития микро- и нано- электроники.

4. Лабораторный 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 литографии 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 « Специальные вопросы проектирования и технологии электронной компонентной базы» 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.