

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Институт электронных и информационных систем

Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники



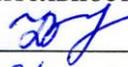
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
учебной дисциплины

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ
ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ**

по направлению подготовки
11.04.04 Электроника и микроэлектроника
Направленность (профиль) Микро- и микроэлектронные устройства

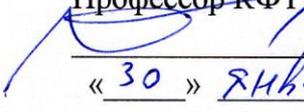
СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела обеспечения
деятельности ИЭИС

 П.В.Лысухо
« 04 » апреля 2019 г.

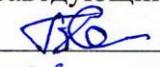
Разработал

Профессор ФТТМ

 М.Н.Петров
« 30 » января 2019 г.

Принято на заседании кафедры ФТТМ
Протокол № 5 от 01.02 2019 г.

Заведующий кафедрой

 Б.И. Селезнев
« 01 » 02 2019 г.

1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Цель освоения учебной дисциплины: формирование у студентов научной основы для осознанного и целенаправленного использования компьютерных технологий для проектирования элементов, приборов и устройств микро- и нанoeлектроники. Она базируется на приборно-технологических САПР TCAD, позволяющих моделировать процессы технологического производства и приборного проектирования.

Задачей учебной дисциплины является формирование знаний в области технологического и приборного моделирования интегральных микро- и нанoeлектронных устройств - биполярных и МДП приборов с учетом масштабирования геометрических размеров, позволяющих ориентироваться в системах параметров современных компьютерных моделей систем автоматизированного проектирования и связать модели компонентов ИМС, используемых в SPICE-подобных системах схемотехнического моделирования, с параметрами физической структуры ИМС.

2 Место учебной дисциплины в структуре ОПОП

Учебная дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, учебного плана основной профессиональной образовательной программы направления подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника и направленности (профилю) Микро- и нанoeлектронные устройства (далее – ОПОП). В качестве входных требований выступают сформированные ранее компетенции обучающихся, приобретенные ими в рамках следующих дисциплин, изученных студентами при подготовке по направлению 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника: «Основы проектирования и технологии электронной компонентной базы», «Элементная база сверхбольших интегральных схем», «Проектирование цифровых устройств», «Математическое моделирование полупроводниковых приборов и интегральных схем», «Процессы микро- и нанотехнологии».

Освоение учебной дисциплины является компетентностным ресурсом для дальнейшего изучения учебных дисциплин направления подготовки 11.04.04, связанных с обработкой информации и моделированием на технологическом и приборном иерархических уровнях проектирования современных микросхем.

3 Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Перечень компетенций, которые формируются в процессе освоения учебной дисциплины:

Профессиональные компетенции:

- ПК-1 Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.

Результаты освоения учебной дисциплины представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты освоения учебной дисциплины

Код и наименование компетенции	Результаты освоения учебной дисциплины (индикаторы достижения компетенций)		
	ПК-1 Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	Знать принципы построения и функционирования изделий микро- и нанoeлектроники;	Уметь рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и нанoeлектроники;

4 Структура и содержание учебной дисциплины

4.1 Трудоемкость учебной дисциплины

Таблица 2 – Трудоемкость учебной дисциплины для очной формы обучения

Части учебной дисциплины (модуля)	Всего	Распределение по семестрам
		2 семестр
1. Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) в зачетных единицах (ЗЕТ)	6	6
2. Контактная аудиторная работа в академических часах (АЧ)	45	45
3. Курсовая работа/курсовой проект (АЧ) <i>(при наличии)</i>	-	-
4. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)	135	135
5. Промежуточная аттестация <i>(зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ)</i>	экзамен 36	экзамен 36

4.2 Содержание учебной дисциплины

Раздел № 1. Методы технологического моделирования при разработке элементов микро- и нанoeлектроники на базе Sentaurus TCAD

1.1 Введение. Приборно-технологическое моделирование. Цели и задачи.

1.2 Моделирование процесса ионной имплантации.

1.3 Моделирование термических процессов в Sentaurus TCAD.

1.4 Технологическое моделирование КМОП - маршрута с длиной канала 90 нм.

1.5 Технологическое моделирование маршрута изготовления биполярных ИС.

Раздел № 2. Приборный этап проектирования элементной базы микро- и нанoeлектроники на базе Sentaurus TCAD

2.1 Приборное моделирование с помощью модуля Sentaurus Device.

2.2 Работа в графической оболочке Sentaurus Workbench.

2.3 Диффузионно-дрейфовое приближение для приборного моделирования микроразмерных транзисторов.

2.4 Гидродинамическая модель для приборного моделирования наноразмерных транзисторов.

4.3 Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

Таблица 3 – Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

№	Наименование разделов (тем) учебной дисциплины (модуля), УЭМ, наличие КП/КР	Контактная работа (в АЧ)			Внеауд. СРС (в АЧ)	В т.ч. СРС	Формы текущего контроля
		Аудиторная					
		ЛЕК	ПЗ	ЛР			
Раздел № 1. Методы технологического моделирования при разработке элементов микро- и нанoeлектроники на базе Sentaurus TCAD							
1.1	Введение. Приборно-технологическое моделирование. Цели и задачи	1	2		1	10	практическая работа
1.2	Моделирование процесса ионной имплантации.	1	4		1	10	практическая работа
1.3	Моделирование термических процессов в Sentaurus TCAD.	1	4		1	10	практическая работа
1.4	Технологическое моделирование КМОП - маршрута с длиной канала 90 нм.	1	4		1	10	практическая работа
1.5	Технологическое моделирование маршрута изготовления биполярных ИС	1	4		1	10	практическая работа
Раздел № 2. Приборный этап проектирования элементной базы микро- и нанoeлектроники на базе Sentaurus TCAD							
2.1	Приборное моделирование с помощью модуля Sentaurus Device.	1	4		1	15	практическая работа
2.2	Работа в графической оболочке Sentaurus Workbench	1	5		1	15	практическая работа
2.3	Диффузионно-дрейфовое приближение для приборного моделирования микроразмерных транзисторов.	1	4		1	15	практическая работа
2.4	Гидродинамическая модель для приборного моделирования наноразмерных транзисторов.	1	5		1	15	практическая работа
						25	реферат
	Промежуточная аттестация						экзамен
	ИТОГО	9	36		9	135	

4.4 Лабораторные работы и курсовые работы/курсовые проекты

4.4.1 Перечень тем лабораторных работ:

Лабораторные работы не предусмотрены учебным планом.

4.4.2 Примерные темы курсовых работ/курсовых проектов:

Курсовые работы/курсовые проекты не предусмотрены учебным планом.

5 Методические рекомендации по организации освоения учебной дисциплины

Таблица 4 – Методические рекомендации по организации лекций

№	Темы лекционных занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
Раздел № 1. Методы технологического моделирования при разработке элементов микро- и нанoeлектроники на базе Sentaurus TCAD		
1	<p>Введение. Приборно-технологическое моделирование. Цели и задачи. Концепция виртуального производства с использованием Sentaurus TCAD. Цели и задачи приборно-технологического моделирования. Роль и место TCAD в системах сквозного проектирования изделий электронной техники. Структура пакета TCAD фирмы Synopsys. Обзор существующих моделей технологических процессов. Целостное представление о технологическом процессе. Взаимовлияние операций в целостном технологическом процессе. Возможности и основные направления развития средств приборно-технологического моделирования. Задачи, решаемые с помощью модуля Sentaurus Process, и основы моделирования технологического процесса. Классификация типов моделей технологических операций (информационная лекция)</p>	1
2	<p>Моделирование процесса ионной имплантации. Системы координат при моделировании ионной имплантации. Принцип суперпозиции при расчете функций распределения примеси. Аналитические аппроксимации распределения ионов. Аналитические аппроксимации распределения ионов, учитывающие сильную асимметрию и эффект каналирования. Распределение постимплантационных дефектов (информационная лекция)</p>	1
3	<p>Моделирование термических процессов в Sentaurus TCAD. Моделирование процесса диффузии примесей. Моделирование процесса окисления. Моделирование процесса эпитаксиального наращивания (информационная лекция)</p>	1
4	<p>Технологическое моделирование КМОП - маршрута с длиной канала 90 нм. Методика выбора моделей технологических процессов. Базовый маршрут формирования КМОП-транзисторов с проектными нормами 90 нм. Моделирование n-МОП-транзистора с проектными нормами 90 нм. Работа с масками. Ионная имплантация. Выращивание подзатворного окисла. Создание поликремниевого затвора. Окисление поликремния. Формирование контактных площадок. Сохранение всей структуры. Сохранение одномерных разрезов. (информационная лекция)</p>	1
5	<p>Технологическое моделирование маршрута изготовления биполярных ИС. Одномерное (1D) и двухмерное (2D) моделирование. Формирование масок. Создание скрытого слоя и разгонка примеси. Наращивание эпитаксиального слоя. Создание «глубокого» контакта к скрытому слою и разгонка. Формирование базы. Создание эмиттера. Осаждение алюминия. Травление алюминия. Формирование контактных площадок. Сохранение всей структуры. Сохранение одномерных разрезов (информационная лекция)</p>	1
Раздел № 2. Приборный этап проектирования элементной базы микро- и нанoeлектроники на базе Sentaurus TCAD		
1	<p>Приборное моделирование с помощью модуля Sentaurus Device. Спектр микро- и нанoeлектронных приборов, проектируемых с помощью модуля Sentaurus Device – от нанометровых МДП-транзисторов до СВЧ и мощных биполярных структур, а также структур на карбиде кремния, гомо- и гетероструктур на соединениях материалов III - V группы. Основные функциональные блоки командного файла SDevice. Секция File. Секция Electrode. Секция Physics. Секция Plot. Секция Math. Секция Solve. Запуск Sentaurus Device. Результаты расчета. Возможности смешанного использования физических и компактных моделей компонентов. Структура дополнительной секции System (информационная лекция)</p>	1
2	<p>Работа в графической оболочке Sentaurus Workbench. Sentaurus Workbench – автоматизированное рабочее место для построения и редактирования сложных проектов, организации вычислительного процесса внутри проектов и директорий и интеграции работы с программными пакетами. Запуск Sentaurus Workbench. Понятие проекта. Запуск проектов. Отображение результатов моделирования. Выбор узлов. Удаление проектов. Создание проектов.</p>	1

	Создание маршрута модулей. Сохранение проектов. Выполнение экспериментов. Добавление параметров. Создание множества экспериментов. Предварительная обработка и запуск проектов. Модуль Sentaurus Inspect. Запуск Inspect. Загрузка наборов данных. Форматы файлов. Отображение наборов данных. Библиотека скриптов (информационная лекция)	
3	Диффузионно-дрейфовое приближение для приборного моделирования микроразмерных транзисторов. Методы численного моделирования полупроводниковых приборов. Диффузионно-дрейфовая модель переноса заряда в полупроводнике. Фундаментальная система уравнений (ФСУ) полупроводника. Модели физических процессов, используемых при формировании ФСУ. Модели рекомбинации-генерации Шокли–Рида–Холла, Оже-рекомбинации. Модели подвижности. Модели лавинного пробоя. Основные варианты независимых переменных, используемых при численном решении ФСУ. Постановка задачи численного решения системы ФСУ. Основные алгоритмы, используемые для дискретизации базовых уравнений. Метод конечных разностей (МКР). Метод конечных элементов (МКЭ). Триангуляция Делоне (информационная лекция)	1
4	Гидродинамическая модель для приборного моделирования наноразмерных транзисторов. Особенности приборного моделирования наноразмерных транзисторов. Ограничения диффузионно-дрейфовой модели. Базовая система уравнений гидродинамической модели. Описание гидродинамической модели в командном файле Sentaurus Device. Коррекция моделей физических процессов при переходе к гидродинамической модели. Учета влияния саморазогрева прибора. Формула Ван Дорта для учета эффекта квантования энергии носителей (информационная лекция)	1
	ИТОГО	9

Таблица 5 – Методические рекомендации по организации практических занятий

№	Темы практических занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
Раздел № 1. Методы технологического моделирования при разработке элементов микро- и нанoeлектроники на базе Sentaurus TCAD		
1	Моделирование базовых технологических процессов в среде Sentaurus TCAD: окисление, эпитаксия, ионная имплантация (практическая работа)	2
2	Моделирование технологического процесса изготовления pin диода на кремнии (практическая работа)	2
3	Моделирование технологического процесса изготовления гетероструктурного биполярного транзистора на базе сплава SiGe в среде модуля SDE (практическая работа)	2
4	Моделирование технологического процесса формирования nМОП - транзистора с топологической нормой 90 нм (практическая работа)	2
5	Моделирование технологии изготовления HEMT-транзистора с барьером Шоттки на подложке GaAs (практическая работа)	2
6	Моделирование технологического процесса изготовления запоминающей ячейки (практическая работа)	2
7	Моделирование технологического процесса формирования МОП-транзистора с плавниковой структурой (FinFET) (практическая работа)	2
8	Моделирование технологического маршрута создания КМОП-структуры с топологической нормой 90 нм в двухмерном (2D) приближении с использование модуля Sentaurus Process (практическая работа)	2
9	Моделирование технологического маршрута изготовления биполярного транзистора в программе Sentaurus Process в двухмерном (2D) приближении (практическая работа)	2
Раздел № 2. Приборный этап проектирования элементной базы микро- и нанoeлектроники на базе Sentaurus TCAD		
1	Моделирование токов утечки, пробивных напряжений, расчет порогового напряжения NМОП-транзистора (практическая работа)	2
2	Расчет статических и малосигнальных параметров pin диода на кремнии (практическая работа)	2
3	Расчет статических и малосигнальных параметров гетероструктурного биполярного	2

	транзистора на базе сплава SiGe (практическая работа)	
4	Расчет характеристик nМОП - транзистора с топологической нормой 90 нм с использованием интегральной среды Sentaurus Workbench (практическая работа)	3
5	Приборное моделирование запоминающей ячейки (практическая работа)	2
6	Приборное моделирование МОП-транзистора с плавниковой структурой (FinFET) (практическая работа)	2
7	Моделирование НЕМТ-транзистора с барьером Шоттки на подложке GaAs с использованием интегральной среды Sentaurus Workbench (практическая работа)	2
8	Приборное моделирование КМОП-транзисторов с проектными нормами 90 нм (практическая работа)	3
	ИТОГО	36

Рекомендации к проведению лекционных занятий.

Теоретическая часть учебной дисциплины направлена на формирование системы знаний, обеспечивающих технологическую, приборную и программную реализацию задач, предназначенных для моделирования и проектирования микро- и нанoeлектронных приборов.

Первый раздел знакомит студентов с моделированием технологических маршрутов изготовления микро- и нанoeлектронных компонентов с помощью модулей SProcess и SDE САПР Sentaurus TCAD. Второй посвящен изучению реализации приборных моделей в модуле SDevice приборно-технологического САПР Sentaurus TCAD.

Дополнительная литература, не вошедшая в таблицу Б.2.

Для раздела № 1:

1 Бубенников А.Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем. – М.: Высшая школа, 1989. – 320 с.

2 Armstrong G.A., Maiti C.K. Technology computer aided design for Si, SiGe, GaAs integrated circuits. The institution of Engineering and Technology, UK, 2007. – 457 p.

3 Sentaurus Process User Guide. Version E-2010.12, Synopsys, December 2010. –1038 p.

4 Петров М.Н. Моделирование микроэлектронных компонентов и схем с помощью программы AIM-SPICE: монография [электронный ресурс] / НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2015 – 83 с.

Для раздела № 2:

1 Казеннов Г.Г. Основы проектирования интегральных схем и систем. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. - 295с.

2 Armstrong G.A., Maiti C.K. Technology computer aided design for Si, SiGe, GaAs integrated circuits. The institution of Engineering and Technology, UK, 2007. – 457 p.

3 Technology computer aided design. Simulation for VLSI MOSFET/ Ed. by Chandan Kumar Sarkar. – N-Y.: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013. – 445 p.

4. Simon Li, Yue Fu. 3D TCAD Simulation for Semiconductor Processes, Devices and Optoelectronics.- Springer LLC, 2012. – 292 p.

5. Chinmay K. Maiti. Introducing Technology Computer-Aided Design (TCAD). Fundamentals, Simulations, and Applications. - Pan Stanford Publishing Pte. Ltd. 2017. – 421 p.

6. Raminder Pal Singh, David L. Harame, Modest M. Oprysko. Silicon Germanium. Technology, Modeling, and Design. - A John Wiley & Sons, 2004. - 371 p.

7. Sentaurus Device User Guide. Version E-2010.12, Synopsys, December 2010. – 1284 p.

Рекомендации к проведению практических занятий.

1. Практическая работа.

По каждой теме практического занятия студенты получают задание, которое самостоятельно выполняют и, при необходимости, получают консультации у преподавателя. Результаты работы оформляются в виде отчетов.

Для выполнения практических заданий студенты должны пользоваться учебным пособием: «Практикум по моделированию микроэлектронных компонентов и схем с помощью программы AIM-SPICE: учеб. пособие / М.Н.Петров; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2014. – 83 с. Пособие содержит описания алгоритмов, программ, методiku и порядок проведения практических занятий, контрольные вопросы.

Раздел № 1.

Задание 1. Подготовка к практическому занятию «Моделирование базовых технологических процессов в среде Sentaurus TCAD: окисление, эпитаксия, ионная имплантация».

1. Анализ существующих моделей окисления. Эффекты перераспределения примеси на границе раздела оксид-кремний (сегрегация). Выбор моделей и параметров, обоснование.

2. Граничные условия для различных границ раздела (оксид-кремний, оксид-газ, газ-кремний).

3. Моделирование типового процесса окисления в модуле SProcess.

4. Анализ процессов эпитаксиального наращивания. Моделирование процесса молекулярно-лучевой эпитаксии в модуле SProcess.

5. Выбор моделей имплантации, варьирование параметров отвечающих за концентрацию точечных дефектов (после легирования).

6. Базовый набор параметров, используемых для моделирования ионной имплантации в модуле SProcess.

7. Анализ взаимного влияния технологических процессов на результирующий профиль распределения примеси в структуре создаваемого прибора.

Задание 2. Подготовка к практическому занятию «Моделирование технологического процесса изготовления pin диода на кремнии».

1. Анализ технологического маршрута изготовления pin-диода на Si.

2. Формирование командного файла для расчета в SProcess профилей распределения примеси с использованием математических моделей процессов эпитаксии, ионной имплантации и окисления, рассмотренных в предыдущем задании 1.

3. Визуализация полученных результатов с помощью модулей Inspect и SVisual.

4. Анализ полученных результатов.

Задание 3. Подготовка к практическому занятию «Моделирование технологического процесса изготовления гетероструктурного биполярного транзистора на базе сплава SiGe в среде модуля SDE».

1. Анализ литературных источников. Гетероструктурный биполярный транзистор на базе SiGe – базовый структурный компонент современной БИМОП технологии.

2. Предварительный анализ маршрута изготовления гетероструктурного биполярного транзистора на базе сплава SiGe.

3. Проблемы встраивания технологического маршрута изготовления транзистора на базе сплава SiGe в технологический маршрут изготовления КМОП транзистора.

4. Выбор граничных условий для моделирования двумерной структуры.

5. Анализ полученных результатов.

Задание 4. Подготовка к практическому занятию «Моделирование технологического процесса формирования nМОП - транзистора с топологической нормой 90 нм».

1. Анализ литературных источников.

2. Формирование командного файла для моделирования в SProcess технологического маршрута изготовления NМОП транзистора с использованием математических моделей процессов эпитаксии, ионной имплантации и окисления, рассмотренных в задании 1.

3. Визуализация полученных результатов с помощью модулей Inspect и SVisual.

4. Анализ полученных результатов.

Задание 5. Подготовка к практическому занятию «Моделирование технологии изготовления НЕМТ-транзистора с барьером Шоттки на подложке GaAs».

1. Анализ литературных источников.

2. Предварительный анализ маршрута изготовления НЕМТ-транзистора с барьером Шоттки на подложке GaAs.

3. Формирование маршрута изготовления НЕМТ-транзистора с использованием модуля Ligament Flow Editor (основные операции: deposit – осаждение; etch – травление; pattern – наложение маски; anneal – отжиг; implant – легирование).

4. Выбор граничных условий для моделирования двумерной структуры.

5. Анализ полученных результатов.

Задание 6. Подготовка к практическому занятию «Моделирование технологического процесса изготовления запоминающей ячейки».

1. Анализ литературных источников. Виды памяти.

2. Конструктивное исполнение ячеек памяти.

3. Особенности реализации высокоскоростной четырехканальной памяти LPDDR4 и LPDDR4X для КМОП технологического процесса.

4. Выбор граничных условий для моделирования двумерной структуры.

5. Анализ полученных результатов.

Задание 7. Подготовка к практическому занятию «Моделирование технологического процесса формирования МОП-транзистора с плавниковой структурой (FinFET)».

1. Анализ литературных источников.

2. Особенности реализации структуры трехмерного затвора.

3. Формирование маршрута изготовления FinFET транзистора.

4. Анализ полученных результатов.

Задание 8. Подготовка к практическому занятию «Моделирование технологического маршрута создания КМОП-структуры с топологической нормой 90 нм в двухмерном (2D) приближении с использованием модуля Sentaurus Process».

1. Предварительный анализ маршрута изготовления КМОП-транзисторов с проектными нормами 90 нм, формирование КМОП в одном процессе.
2. Выбор граничных условий для моделирования двумерной структуры.
3. Оценка режимов имплантации (энергии и дозы) для формирования различных структурных областей NМОП и PМОП транзисторов (карманов, LDD-областей, pocket-областей и т.п.)
4. Анализ полученных результатов.

Задание 9. Подготовка к практическому занятию «Моделирование технологического маршрута изготовления биполярного транзистора в программе Sentaurus Process в двухмерном (2D) приближении».

1. Предварительный анализ маршрута изготовления биполярного транзистора.
2. Формирование командного файла модуля SProcess с описанием параметров основных технологических процессов (на базе моделей технологических процессов, рассмотренных в задании 1) и комплекта из пяти масок.
3. Поэтапная визуализация результатов, полученных после каждой из основных технологических операций, с помощью модулей Inspect и SVisual.
4. Анализ полученных результатов.

Раздел № 2.

Задание 1. Подготовка к практическому занятию «Моделирование токов утечки, пробивных напряжений, расчет порогового напряжения NМОП-транзистора».

1. Анализ литературных источников.
2. Использование результатов моделирования технологического процесса изготовления NМОП-транзистора (задание 4 раздела 1) в качестве входных параметров при создании командного файла.
3. Формирование командного файла для расчета статических и динамических параметров.
4. Сравнительный анализ полученных результатов.

Задание 2. Подготовка к практическому занятию «Расчет статических и малосигнальных параметров r_{in} диода на кремнии».

1. Анализ литературных источников.
2. Знакомство с принципом работы r_{in} диода на кремнии.
3. Проблемы приборного моделирования дискретного прибора в сравнении с моделированием компонента ИС.
4. Использование результатов моделирования технологического процесса изготовления гетероструктурного биполярного транзистора, выполненных ранее в занятии 3 раздела 1.

4. Формирование командного файла для расчета статических и динамических параметров.
5. Сравнительный анализ полученных результатов.

Задание 3. Подготовка к практическому занятию «Расчет статических и малосигнальных параметров гетероструктурного биполярного транзистора на сплаве SiGe».

1. Анализ литературных источников.
2. Знакомство с принципом работы гетероструктурного биполярного транзистора и особенностями его структуры.
3. Использование результатов моделирования технологического процесса изготовления гетероструктурного биполярного транзистора, выполненных ранее в задании 3 раздела 1.
4. Формирование командного файла для расчета статических и динамических параметров.
5. Сравнительный анализ полученных результатов.

Задание 4. Подготовка к практическому занятию «Расчет характеристик nМОП - транзистора с топологической нормой 90 нм с использованием интегральной среды Sentaurus Workbench».

1. Анализ короткоканальных эффектов в nМОП-транзисторах с топологическими нормами 90 нм.
2. Выбор моделей электрофизических процессов для расчета электрических параметров (порогового напряжения, пробивного напряжения, тока утечки).
3. Использование результатов моделирования технологического процесса изготовления nМОП - транзистора с топологической нормой 90 нм, выполненных ранее в задании 4 раздела 1.
4. Формирование командного файла.
5. Выполнение квазистационарного и временного анализов.
6. Анализ полученных результатов.

Задание 5. Подготовка к практическому занятию «Приборное моделирование запоминающей ячейки».

1. Анализ литературных источников.
2. Виды памяти.
3. Конструктивное исполнение ячеек памяти.
4. Схемы выборки ячеек памяти.
5. Достоинства и недостатки.
6. Сравнительный анализ характеристик памяти (время записи, время стирания, количество циклов перезаписи, требуемое питание в процессах записи и стирания, радиационная стойкость).

Задание 6. Подготовка к практическому занятию «Приборное моделирование МОП-транзистора с плавниковой структурой (FinFET)».

1. Анализ литературных источников.
2. Специфика формирования структуры FinFET.
3. Моделирование статических и динамических параметров FinFET транзистора.
4. Анализ полученных результатов. Сравнение полученных параметров FinFET транзистора с параметрами МОП транзистора, полученными при выполнении задания 4 раздела 2.

Задание 7. Подготовка к практическому занятию «Моделирование НЕМТ-транзистора с барьером Шоттки на подложке GaAs с использованием интегральной среды Sentaurus Workbench».

1. Анализ литературных источников.
2. Знакомство с принципом работы НЕМТ-транзистора и особенностями его структуры.
3. Использование результатов моделирования технологического процесса изготовления НЕМТ-транзистора, выполненных ранее в задании 5 раздела 1.
4. Моделирование СВЧ-транзистора с использованием интегральной среды Sentaurus Workbench».

Задание 8. Подготовка к практическому занятию «Приборное моделирование КМОП-транзисторов с проектными нормами 90 нм»

1. Анализ эффектов в КМОП-транзисторах при измерении характеристик (подаче смещения).
2. Выбор моделей для расчета электрических параметров (порогового напряжения, пробивного напряжения, тока утечки).
3. Выполнение квазистационарного и временного анализов.
4. Анализ полученных результатов.

Отчет по практической работе должен содержать:

- моделируемая структура;
- особенности моделирования (общие);
- калибровка по заданию (файл калибровки по умолчанию и после изменения параметров);
- результаты по умолчанию и после калибровки;
- выводы, обоснование.

2. Реферат

Самостоятельно изученные теоретические материалы оформляются в виде рефератов, которые обсуждаются на практических занятиях. Каждый студент должен написать по одному реферату по любой из предложенных тем.

Рекомендации по самостоятельной работе студентов.

Основные виды СРС:

1. Предварительные расчеты перед практическими занятиями, подготовка отчетных форм - 2 часа на каждое практическое занятие. По результатам расчета дается допуск к выполнению работы.
2. Анализ полученных данных по результатам выполнения практического занятия, заполнение отчета для последующей защиты - 2 часа на каждое практическое занятие.

6 Фонд оценочных средств учебной дисциплины

Фонд оценочных средств представлен в приложении А.

7 Условия освоения учебной дисциплины

7.1 Учебно-методическое обеспечение

Учебно-методического обеспечение учебной дисциплины представлено в приложении Б.

7.2 Материально-техническое обеспечение

Таблица 6 – Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

№	Требование к материально-техническому обеспечению	Наличие материально-технического оборудования и программного обеспечения
1.	Наличие учебной аудитории	Учебная мебель, доска
2.	Мультимедийное оборудование	<i>Мультимедийная система:</i> ПК IBM ATX Inwia S500 с подключением к сети «Интернет», монитор 17/КК/м, проектор Epson EMP-X5, экран подвесной (800x600)
	Программное обеспечение	Microsoft Windows 7 Professional; Dreamspark (Imagine) № 6002662113, 6002662119, 6002662110, 6002662108, 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212 Акт предоставления прав № Tr023734 от 29.04.2015: «Права на программы для ЭВМ DreamSpark Premium Online 3 Years», срок: 3 года (с апреля 2015 г. по апрель 2018 г.) Поставщик: ЗАО «СофтЛайн Трейд» Kaspersky Endpoint Security Standard; Лицензия № 1C1C-160801-082918-943-340 (кол-во объектов: 700 users), поставщик: ООО «Системная интеграция», срок пользования ПО: с 01.08.2016г. по 16.08.2018г.

Приложение А
(обязательное)

Фонд оценочных средств учебной дисциплины «Проектирование и технология электронной компонентной базы»

1 Структура фонда оценочных средств

Фонд оценочных средств состоит из двух частей:

а) открытая часть - общая информация об оценочных средствах (название оценочных средств, проверяемые компетенции, баллы, количество вариантов заданий, методические рекомендации для применения оценочных средств и пр.), которая представлена в данном документе, а также те вопросы и задания, которые могут быть доступны для обучающегося;

б) закрытая часть - фонд вопросов и заданий, которая не может быть заранее доступна для обучающихся (экзаменационные билеты, вопросы к контрольной работе и пр.) и которая хранится на кафедре.

2 Перечень оценочных средств текущего контроля и форм промежуточной аттестации

Таблица А.1 – Перечень оценочных средств

№	Оценочные средства для текущего контроля	Разделы (темы) учебной дисциплины	Баллы	Проверяемые компетенции
1.	Практическая работа	Раздел № 1. Методы технологического моделирования при разработке элементов микро- и нанoeлектроники на базе Sentaurus TCAD	12x9	ПК-1
2.	Практическая работа	Раздел № 2. Приборный этап проектирования элементной базы микро- и нанoeлектроники на базе Sentaurus TCAD	14x8	
3.	Реферат		30	
<i>Промежуточная аттестация</i>				
	Экзамен		50	
	ИТОГО		300	

3 Рекомендации к использованию оценочных средств

1) Практическая работа

Критерии оценки	Количество вариантов заданий
Способен осуществить мотивированный выбор математических моделей на каждом уровне проектирования	по количеству студентов
Провести анализ полученных результатов	
Должен быть правильно оформленный отчет	

2) Реферат

Критерии оценки	Количество вариантов заданий
Соответствие содержания теме и плану реферата	10
Умение обобщать и делать выводы	
Соблюдение требований к оформлению	
Выдержан объем	
Даны правильные ответы на дополнительные вопросы	

Темы рефератов:

1. Моделирование процессов диффузии в модуле Sentaurus Process.
2. Моделирование процессов ионной имплантации в модуле Sentaurus Process.
3. Моделирование процессов высокотемпературного окисления в модуле Sentaurus Process.
4. Моделирование процессов нанесения и удаления вещества в модуле Sentaurus Process.
5. Анализ современного состояния средств приборно-технологического проектирования.
6. Численные методы в моделировании технологических процессов.
7. Численные методы в моделировании компонентов микро- и нанoeлектроники.
8. Математические модели физических процессов, используемые в в модуле Sentaurus Process.
9. Размерные эффекты, их учет в моделировании структур нанoeлектроники в модуле Sentaurus Process.
10. Квантовые эффекты, их учет в моделировании структур нанoeлектроники в модуле Sentaurus Process.

3) Экзамен

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>	<i>Количество вопросов</i>
Демонстрирует всестороннее и глубокое знание теоретического материала	11	3
Задача решена правильно		

Экзамен состоит из двух частей: теоретической и практической. Теоретическая часть экзамена представляет собой два вопроса из учебных элементов модуля. Практическая часть экзамена состоит из задачи.

Вопросы для подготовки к экзамену.

1. Составьте сопроводительный лист технологического процесса производства КМОП структуры.
2. Использование приборно-технологического моделирования в разработке и производстве устройств электроники.
3. Метод конечных элементов.
4. Математические модели процесса диффузии.
5. Математические модели процесса ионной имплантации.
6. Математические модели процесса окисления.
7. Моделирование процессов нанесения и удаления вещества.
8. Правила создания командного файла для моделирования технологического процесса в Sentaurus Process.
9. Построение эскиза шаблонов в Ligament Layout Editor.
10. Построение технологического процесса с помощью Ligament Flow Editor.
11. Отображение результатов моделирования в программных модулях Svisual и Inspect.

12. Организация математического эксперимента в Sentaurus Workbench.
 13. Основные принципы оптимизации технологических процессов микро- и нанoeлектроники.
 14. Основные приемы оптимизации конструкции приборов микро- и нанoeлектроники.
 15. Численные методы в моделировании технологических процессов.
 16. Современное состояние средств приборно-технологического проектирования.
 17. Основные способы реализации процессов удаления вещества в нанотехнологии.
 18. Применение процессов планарной и изопланарной технологии ИС в нанотехнологии.
 19. Составьте сопроводительный лист технологического процесса производства биполярного транзистора.
 20. Процессы самоформирования в нанотехнологии.
 21. Размерные эффекты и их учет в моделировании процессов и структур нанотехнологии.
 22. Квантовые эффекты и их учет в моделировании процессов и структур нанотехнологии.
- Все материалы для проведения промежуточного контроля хранятся на кафедре.

Пример экзаменационного билета

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
Институт электронных и информационных систем
Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №

Учебная дисциплина **«Проектирование и технология электронной компонентной базы»**

Для направления подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность (профиль) Микро- и нанoeлектронные устройства

1. Составьте сопроводительный лист технологического процесса производства КМОП структуры.

2. Квантовые эффекты и их учет в моделировании процессов и структур нанотехнологии.

3. Задача.

Процесс ионной имплантации в аморфном полупроводнике описывается с помощью распределения:

- а) распределение Гаусса;
- б) двойное сопряженное распределение Гаусса (асимметричное);
- в) распределение Гаусса с обобщенным экспоненциальным «хвостом»;
- г) распределение Пирсона-IV;
- д) распределение Пирсона-IV с линейно-экспоненциальным хвостом.

Принято на заседании кафедры

« ___ » _____ 20 ___ г.

Протокол № _____

Заведующий кафедрой _____ (ФИО)

Приложение Б
(обязательное)

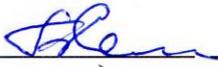
**Карта учебно-методического обеспечения
учебной дисциплины «Проектирование и технология электронной компонентной
базы»**

Таблица Б.1 – Основная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Петров М.Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем / М.Н.Петров, Г.В.Гудков. – СПб.: Лань, 2011. – 462 с.	15	
Петров М.Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем : учеб. пособие для вузов / М.Н.Петров, Г.В.Гудков. - СПб.: Лань, 2017. - 462, [1] с.	1	
Петров М.Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем : учеб. пособие для вузов / М. Н. Петров, Г. В. Гудков. - СПб.: Лань, 2018. - 462, [1] с.	2	
2 Королев М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем : учеб. пособие для вузов. Ч. 1 : Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М.А.Королев, Т.Ю.Крупкина, М.А.Ревелева; под общ. ред. Ю.А.Чаплыгина. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. - 396, [1] с.	2	
Королев М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: учеб. пособие для вузов : в 2 ч. Ч. 1 : Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М. А. Королев, Т. Ю. Крупкина, М. А. Ревелева ; под общ. ред. Ю. А. Чаплыгина. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 396, [2] с.	10	
3 Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: учеб. пособие для вузов: в 2 ч. Ч. 2: Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / М.А.Королев [и др.]; под общ. ред. Ю.А.Чаплыгина. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 422, [1] с.	10	
Электронные ресурсы		
1 Сайт компании Synopsys http://www.synopsys.com		
2 Федеральный интернет-портал «Нанотехнологии и наноматериалы» http://www.portalnano.ru		
3 Образовательный математический сайт http:// www.exponenta.ru		

Таблица Б.2 –Дополнительная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Казеннов Г.Г. Основы проектирования интегральных схем и систем. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. - 295с.	6	
2 Петров М.Н. Моделирование микроэлектронных компонентов и схем с помощью программы АІМ-SPICE: учеб. пособие / М.Н.Петров; Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2014. - 72, [1] с.	10	Режим доступа: https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-2185
Электронные ресурсы		
1		
2		

Зав. кафедрой  Б. И. Семенов
подпись И.О.Фамилия
 « 01 » 02 2019 г.

