


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

И.о. заведующая кафедрой
физики полупроводников и микроэлектроники


подпись

(Меньшикова Т.Г.)
расшифровка подписи

05.06.2025

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.06 Приборно-технологическое проектирование
элементной базы радиоэлектронных устройств
Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом

1. Шифр и наименование направления подготовки: **03.04.03** Радиофизика
2. Профиль подготовки: Микроэлектроника и полупроводниковые приборы
3. Квалификация (степень) выпускника: магистр
4. Форма образования: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: физики
полупроводников и микроэлектроники
6. Составители программы: Быкадорова Галина Владимировна,
кандидат физико-технических наук, доцент
(ФИО, ученая степень, ученое звание)
7. Рекомендована: НМС физического факультета, протокол №6 от 04.06.2025
(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола)
8. Учебный год: 2025-2026 / 2026-2027 Семестр(-ы): 2, 3

9. Цели и задачи учебной дисциплины: Целью дисциплины «Приборно-технологическое проектирование элементной базы радиоэлектронных устройств» является формирование специальных знаний в области физико-технологического проектирования как неотъемлемой и обязательной части всего маршрута проектирования проборов и устройств радиоэлектроники.

В задачи дисциплины входят:

- рассмотрение общих вопросов физико-технологического проектирования;
- конструктивно-технологические особенности проектирования;
- исследование проблем однородности и воспроизводимости электрических параметров элементной базы радиоэлектронных устройств;
- общие характеристики правил проектирования, их заполнение;
- физико-технологическое моделирование в общем маршруте проектирования проборов и устройств элементной базы радиоэлектронных устройств;
- обзор и изучение существующих специализированных программных продуктов для проектирования элементной базы радиоэлектронных устройств.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- фундаментальные разделы физики и радиофизики, необходимые для решения научно-исследовательских задач проектирования приборов СВЧ-электроники;
- технологию работы на ПК в современных операционных средах, основные методы разработки алгоритмов и программ, структуры данных, используемые для представления типовых информационных объектов, типовые алгоритмы обработки данных;
- новые методики инженерно-технологической деятельности;
- методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации элементной базы радиоэлектронных устройств с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств;

уметь:

- самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности знания и умения, в том числе в новых областях, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять своё научное мировоззрение;
- оперировать углубленными знаниями в области математики и естественных наук;
- выдвигать новые идеи и адаптироваться к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности, к изменению социокультурных и социальных условий деятельности;
- применять методы расчета параметров и характеристик, моделирования и проектирования приборов СВЧ-электроники;
- использовать современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций, способствующие повышению эффективности проектных работ при создании проборов и устройств СВЧ-электроники;
- разрабатывать физические и математические модели приборов и устройств электроники и нанoeлектроники; разрабатывать технологические маршруты их изготовления;

владеть:

- профессионально-профильными знаниями в области информационных технологий, использовании современных компьютерных сетей, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки;
- современными программными средствами (CAD) моделирования, оптимального проектирования и конструирования приборов, схем элементной базы радиоэлектронных устройств различного функционального назначения;
- методами проектирования электронной компонентной базы и технологических процессов СВЧ-электроники;
- методами математического моделирования приборов и технологических процессов с целью оптимизации их параметров.

10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП:

Дисциплина относится к дисциплинам вариативной части блока Б1 основной образовательной программы подготовки магистров «Микроэлектроника и полупроводниковые приборы» направления **03.04.03 Радиофизика** и предусматривает владение методами математической физики, численными методами, знаниями по физике полупроводников и полупроводниковой технологии, программными средствами и компьютерными технологиями; дисциплина формирует знания, умения и компетенции для выполнения магистерских выпускных квалификационных работ.

Для освоения дисциплины «Приборно-технологическое проектирование элементной базы радиоэлектронных устройств» необходимы знания, умения и компетенции, полученные при изучении соответствующих дисциплин основной образовательной программы бакалавра по направлению 03.03.03 Радиофизика: «Математика», «Физика», «Информатика», «Физика полупроводников».

Изучение дисциплины «Приборно-технологическое проектирование элементной базы радиоэлектронных устройств» сопрягается с овладением теоретико-методологическим базисом дисциплин общенаучного и профессионального циклов данной образовательной программы: «Прикладные научно-исследовательские проекты в радиофизике и электронике», «Прикладное программное обеспечение для задач радиофизики», с заданиями по практическому применению их в ходе научно-исследовательской работы и с выполнением программ профессиональных практик.

Знания, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении магистерской выпускной квалификационной работы в области микроэлектроники и полупроводниковых приборов.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки профессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудового действия ТД.2 «Разработка моделей элементов МИС СВЧ. Моделирование характеристик наногетероструктурных МИС СВЧ. Выбор программного обеспечения для построения моделей элементов и конструирования МИС СВЧ» трудовой функции В/01.7 «Конструирование наногетероструктурных СВЧ-монокристаллических интегральных схем в соответствии с техническим заданием для выбираемой технологии» профессионального стандарта 40.003 «Инженер-конструктор в области производства наногетероструктурных СВЧ-монокристаллических интегральных схем».

Знания, полученные при освоении дисциплины «Приборно-технологическое проектирование элементной базы радиоэлектронных устройств», необходимы при выполнении научно-исследовательских работ и магистерской выпускной квалификационной работы в области радиофизики и электроники.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Компетенции		Индикаторы		Планируемые результаты обучения
Код	Наименование компетенции	Код(ы)	Наименование индикатора(ов)	
ПК-2	Способен принимать участие в разработке и научных исследованиях полупроводни-	ПК-2.2	Разрабатывает модели СВЧ полупроводниковых устройств с помощью систем технологического	<i>Знать:</i> - специальные программные средства проектирования технологии и топологии полупроводниковой элементной базы радиоэлектронных устройств;

	ковой элементной базы радиоэлектронных устройств		проектирования	<p><i>Уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - разрабатывать средства моделирования в специализированных пакетах приборно-технологического проектирования; - применять методы расчета параметров и характеристик, моделирования и проектирования элементной базы радиоэлектронных устройств - разрабатывать физические и математические модели приборов и устройств микро- и нанoeлектроники; разрабатывать технологические маршруты их изготовления; <p><i>Владеть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - современными программными средствами (CAD) моделирования, оптимального проектирования и конструирования полупроводниковой элементной базы радиоэлектронных устройств
		ПК-2.4	Учитывает условия эксплуатации при проектировании элементной базы радиоэлектроники	<p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - фундаментальные разделы физики полупроводников и твердотельной электроники, необходимые для решения научно-исследовательских задач проектирования элементной базы радиоэлектроники; - методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации радиоэлектронной компонентной базы с использованием систем автоматизированного проектирования; <p><i>Уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - моделировать средствами САПР устройства, приборы и системы радиоэлектронной техники с учетом заданных требований; <p><i>Владеть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - методами математического моделирования приборов и технологических процессов с целью оптимизации их параметров - средствами САПР при проектировании элементной базы радиоэлектроники с учетом условий эксплуатации

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах — 6 / 216.

Формы промежуточной аттестации – зачет (2 семестр); экзамен, курсовая работа (3 семестр)

13. Виды учебной работы:

Вид учебной работы		Трудоемкость (часы)		
		Всего	По семестрам	
			2 сем.	3 сем.
Аудиторные занятия,		74	36	38
в том числе:	лекции	24	12	12
	лабораторные	50	24	26
Самостоятельная работа, в том числе курсовая работа		108	72	34
Форма промежуточной аттестации: зачет (2 семестр); экзамен (3 семестр)		36	зачет	36
Итого:		216	108	108

13.1. Содержание дисциплины:

2 семестр

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
Лекции			
1.1	Введение в САПР приборно-технологического проектирования	<p>Физическое и математическое моделирование процессов в микроэлектронике как инструмент оптимизации параметров ИС и фундамент современных компьютерных систем приборно-технологического проектирования</p> <p>Общая характеристика процесса проектирования. Маршруты и этапы проектирования. Восходящее и нисходящее проектирование. Основы функционально-логического, схемотехнического, физикотопологического и приборно-технологического проектирования. Виды и способы проектирования.</p> <p>Методы описания элементной базы радиоэлектроники на различных этапах проектирования.</p> <p>Поколения САПР TCAD</p>	
1.2	Основы приборно-технологического проектирования в специализированных пакетах САПР TCAD	Введение в среду приборно-технологического моделирования САПР TCAD. Системные средства: интерфейс пользователя, построение и редактирование создаваемых проектов, организация вычислительного процесса, работа с программными пакетами по планированию экспериментов, оптимизации и статистическому анализу. Визуализация результатов экспериментов	
1.3	Приборно-технологическое проектирование элементной	Одно-, двух- и трехмерное моделирование технологических процессов для кремния, германия и сложных полупроводников. Моделирование стан-	

	базы радиоэлектроники в специализированном пакете САПР TCAD	дартных технологических процессов: диффузия, имплантация, моделирование имплантации методом Монте-Карло, окисление, травление, осаждение, силицидизация	
1.4	Создание и моделирование приборов микроэлектроники в специализированном пакете САПР TCAD	Создание и редактирование двух- и трехмерных приборных структур и эмуляция трехмерных технологических процессов. Многомерное моделирование электрофизических параметров изолированных полупроводниковых приборов и приборов, соединенных в схему	
1.5	Моделирование термомеханических, электрических, оптических и магнитных явлений в полупроводниковых структурах	Двух- и трехмерное моделирование термомеханических, электрических, оптических и магнитных явлений в полупроводниковых структурах	
1.6	Проектирование конструкции, технологии и электрофизических характеристик элементной базы радиоэлектроники	Современные методы приборно-технологического проектирования полупроводниковых приборов и элементной базы радиоэлектроники	
Лабораторные занятия			
2.1	Введение в САПР приборно-технологического проектирования		
2.2	Основы приборно-технологического проектирования в специализированных пакетах САПР TCAD	Лабораторная работа 1. Изучение состава специализированного пакета приборно-технологического проектирования САПР TCAD. Освоение интерфейса пользователя. Изучение программных средств визуализации результатов экспериментов	
2.3	Приборно-технологическое проектирование элементной базы радиоэлектроники в специализированном пакете САПР TCAD	Лабораторная работа 2. Освоение программы технологического моделирования специализированного пакета приборно-технологического проектирования программ САПР TCAD. Освоение программы моделирования электрофизических параметров специализированного пакета приборно-технологического проектирования программ САПР TCAD	
2.4	Создание и моделирование приборов микроэлектроники в специализированном пакете САПР TCAD		
2.5	Моделирование термомеханических, электрических, оптических и магнитных явлений в полупроводниковых структурах		
2.6	Проектирование	Лабораторная работа 3. Проектирование технологии	

	конструкции, технологии и электрофизических характеристик элементной базы радиоэлектроники	эпитаксиально-планарного диода Лабораторная работа 4. Проектирование технологии эпитаксиально-планарного $n-p-n$ -транзистора с изоляцией $p-n$ -переходом Лабораторная работа 5. Проектирование технологии и исследование электрофизических параметров n -МОП-структур. Лабораторная работа 6. Проектирование технологии и исследование электрофизических параметров FinFet-структур	
--	--	--	--

3 семестр

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
Лекции			
1.1	Современная компонентная база радиоэлектроники	Типы СВЧ-транзисторов: биполярные кремниевые транзисторы, кремниевые полевые DMOS-, VDMOS-, LDMOS-транзисторы, транзисторы на основе арсенида галлия, HEMT-транзисторы на нитриде галлия. Радиационно-стойкая элементная база СВЧ-электроники на основе карбида кремния. Общая характеристика процесса приборно-технологического проектирования. Маршруты и этапы проектирования. Восходящее и нисходящее проектирование. Основы функционального, схемотехнического и физикотопологического проектирования. Виды и способы проектирования.	
1.2	Проектирование биполярных элементов СВЧ-электроники	Конструкция и принцип действия биполярного СВЧ-транзистора. Особенности СВЧ-БТ: уменьшение толщины базы, неравномерное легирование базы, влияние сопротивления базы, гребенчатая и многоэмиттерная структура. Приборно-технологическое моделирование топологии и технологии изготовления активных областей биполярного СВЧ-транзистора. Расчет электрофизических параметров и характеристик биполярного СВЧ-транзистора.	
1.3	Проектирование полевых элементов СВЧ-электроники	Конструкция и принцип действия полевого СВЧ-транзистора. Типы СВЧ-ПТ: с изолированным затвором, затвором на основе $p-n$ -перехода, затвором на основе барьера Шоттки. Приборно-технологическое моделирование топологии и технологии изготовления активных областей полевого СВЧ-транзистора. Расчет электрофизических параметров и характеристик полевого СВЧ-транзистора.	
1.4	Проектирование VDMOS- и LDMOS-транзисторов для СВЧ-электроники	Конструкция и принцип действия VDMOS- и LDMOS-транзисторов для СВЧ-электроники. Приборно-технологическое моделирование топологии и технологии изготовления активных областей VDMOS- и LDMOS-транзисторов.	

	СВЧ-электроники	гии и технологии изготовления активных областей VDMOS- и LDMOS-транзисторов. Расчет электрофизических параметров и характеристик VDMOS- и LDMOS-транзисторов	
Лабораторные занятия			
2.1	Современная компонентная база радиоэлектроники		
2.2	Проектирование биполярных элементов СВЧ-электроники	Лабораторная работа 1. Топология и технология создания биполярной СВЧ-структуры Лабораторная работа 2. Разработка проекта для приборно-технологического проектирования биполярной СВЧ-структуры	
2.3	Проектирование полевых элементов СВЧ-электроники	Лабораторная работа 3. Топология и технология создания полевой СВЧ-структуры с изолированным затвором Лабораторная работа 4. Разработка проекта для приборно-технологического проектирования полевой СВЧ-структуры с изолированным затвором	
2.4	Проектирование VDMOS- и LDMOS-транзисторов для СВЧ-электроники	Лабораторная работа 5. Топология и технология создания СВЧ LDMOS-структуры Лабораторная работа 6. Разработка проекта для приборно-технологического проектирования полевой СВЧ LDMOS-структуры	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий:

2 семестр

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лекции	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение в САПР приборно-технологического проектирования	1	-	2	3
2	Основы приборно-технологического проектирования в специализированных пакетах САПР TCAD	1	4	10	15
3	Приборно-технологическое проектирование элементной базы радиоэлектроники в специализированном пакете САПР TCAD	2	4	10	16
4	Создание и моделирование приборов микроэлектроники в специализированном пакете САПР TCAD	4	-	6	10
5	Моделирование термомеханических, электрических, оптических и магнитных явлений в полупроводниковых структурах	2	-	4	6
6	Проектирование конструкции, технологии и электрофизических характеристик элементной базы радиоэлектроники	2	16	40	58
	Итого:	12	24	72	108

3 семестр

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лек- ции	Лабора- торные	Самост. работа	Всего
1	Современная компонентная база радиоэлектроники	2	-	2	4
2	Проектирование биполярных элементов СВЧ-электроники	2	8	8	18
3	Проектирование полевых элементов СВЧ-электроники	4	8	10	22
4	Проектирование VDMOS- и LDMOS-транзисторов для СВЧ-электроники	4	10	14	28
	Экзамен				36
	Итого:	12	26	34	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Изучение дисциплины «Приборно-технологическое проектирование элементной базы радиоэлектронных устройств» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Дисциплина «Приборно-технологическое проектирование электронной компонентной базы» может реализовываться с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов-магистров. Студентам, чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнить, когда требуется.

Приступая к изучению нового материала, необходимо сосредоточиться, т.е. сконцентрировать внимание и не отвлекаться от выполняемой работы, помня, что желание запомнить является гарантией успешной работы, отсутствие же воли к запоминанию снижает эффект восприятия.

Следует помнить о том, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
 - понимать значение и важность ее в данном курсе;
 - четко представлять план;
 - уметь выделить основное, главное;
 - усвоить значение примеров и иллюстраций;
 - связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
 - представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.
- Существует несколько общих правил работы на лекции:
- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;
 - к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;
 - лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;
 - так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;
 - записывать надо сжато;
 - во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Изучение теоретического материала в данном курсе не ограничивается подготовкой к лекциям и работой на данном виде занятий. Лекционная часть курса органически взаимосвязана с иными видами работ: написанием рефератов, участием в семинарских и лабораторных занятиях, подготовкой и сдачей зачета по дисциплине, в структуре которых также большое значение имеет самостоятельная работа студента.

Самостоятельная работа обучающихся наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки бакалавров. Последнее обусловлено тем, что самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности, формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа обучающегося позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа обучающихся, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу обучающихся и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность обучающихся должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессио-

нальной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности обучающегося по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Получение образования предполагает обучение решению задач определенной сферы деятельности. Однако как бы хорошо не обучались обучающиеся способам решения задач в аудитории, сформировать средства практической деятельности не удастся, так как каждый случай практики особый и для его решения следует выработать особый профессиональный стиль мышления.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных обучающимся знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы обучающегося предполагает наличие следующих составляющих:

- понимание методологических основ построения изучаемых знаний;
- выделение главных структур учебного курса;
- формирование средств выражения в данной области;
- построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа обучающихся при изучении «Приборно-технологическое проектирование элементной базы радиоэлектронных устройств» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, выполнение лабораторных работ, подготовку к экзамену.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Приборно-технологическое проектирование электронной компонентной базы» включает в себя:

изучение теоретической части курса	- 64 часа
подготовку к лабораторным занятиям	- 72 часа
написание отчетов по лабораторным работам	- 24 часа
написание курсовой работы	- 20 часов
итого - 180 часов	

Подготовка к экзамену – 36 часов

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Малюх, В. Н. Введение в современные САПР: Курс лекций [Электронный ресурс] / Малюх В. Н. — Москва : ДМК Пресс, 2010 .— 192 с. — Книга из коллекции ДМК Пресс - Информатика .— ISBN 978-5-94074-551-8 .— <URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1314 >.
2	Горлач, Б. А. Математическое моделирование. Построение моделей и численная реализация [Электронный ресурс] / Горлач Б. А., Шахов В. Г. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2018 .— 292 с. — Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по программам высшего образования в областях: «Инженерное дело, технологии и технические науки» и «Науки об обществе» .— Книга из коллекции Лань - Математика .— ISBN 978-5-8114-2168-8 .— <URL: https://e.lanbook.com/book/103190 >.
3	Прошкин, С. С. Математика для решения физических задач [Электронный ресурс] /

	<p>Прошкин С. С. — 1-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2014 .— 384 с. — Допущено НМС по физике Министерства образования и науки РФ в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по техническим и технологическим направлениям: «Электроэнергетика и электротехника» и др.— Книга из коллекции Лань - Физика .— ISBN 978-5-8114-1670-7 .— <URL:http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=53689>.</p>
	<p>Сорокин, В. С. Материалы и элементы электронной техники. Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники [Электронный ресурс] / Сорокин В. С., Антипов Б. Л., Лазарева Н. П. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2016 .— 384 с. — Рекомендовано УМО вузов РФ по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по направлениям «Электроника и нанoeлектроника» и «Конструирование и технология электронных средств» .— Книга из коллекции Лань - Физика .— ISBN 978-5-8114-2002-5 .— <URL:http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=71735>.</p>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	<p>Приборно-технологическое проектирование элементной базы мощной СВЧ-электроники [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для студ. 1 и 2 к. очной формы , обуч. физ. фак. Воронеж. гос. ун-та, по программам магистратуры; для направлений : 03.04.03 - Радиофизика , 11.03.04 -Электроника и нанoeлектроника] / Воронеж. гос. ун-т ; [сост.: Р.П. Алексеев и др.] .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2016 .— Загл. с титул. экрана .— Свободный доступ из интрасети ВГУ .— Текстовый файл .— Windows 2000; Adobe Acrobat Reader .— <URL:http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m16-41.pdf>.</p>
5	<p>Приборно-технологическое проектирование элементов МДП-ИС [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для студ. физ. фак. очной формы обучения по программам бакалавриата и магистратуры, для направлений : 03.03.03, 03.04.03 - Радиофизика ; 11.03.04, 11.04.04 - Электроника и нанoeлектроника]. Ч. 1 / Воронеж. гос. ун-т ; [сост.: А.Е. Бормонтов и др.] .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018 .— Загл. с титула экрана .— Свободный доступ из интрасети ВГУ .— Текстовый файл .— <URL:http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m18-161.pdf>.</p>
6	<p>Приборно-технологическое проектирование элементов биполярных ИС [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для студ. физ. фак. очной формы обучения по программам бакалавриата и магистратуры, для направлений : 03.03.03, 03.04.03 - Радиофизика ; 11.03.04, 11.04.04 - Электроника и нанoeлектроника] / Воронеж. гос. ун-т ; [сост.: Р.П. Алексеев и др.] .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018 .— Загл. с титула экрана .— Свободный доступ из интрасети ВГУ .— Текстовый файл .— <URL:http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m18-114.pdf>.</p>
7	<p>Приборно-технологическое проектирование компонентной базы микро- и нанoeлектроники [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для слушателей Президентской программы повышения квалификации инженер. кадров "Приборно-технологическое проектирование компонентной базы микро- и нанoeлектроники" по направлению "Электронная техника, радиотехника и связь", а также для студ. 1 и 2 к. очной формы обучения физ. фак., обуч. по программе магистратуры; для направления 11.04.04 - Электроника и нанoeлектроника с профилями, Интегральная электроника и нанoeлектроника, Нанoeлектроника] / Воронеж. гос. ун-т ; [сост. : Г.В. Быкадорова и др.] .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2016 .— Загл. с титул. экрана .— Свободный доступ из интрасети ВГУ .— Текстовый файл .— Windows 2000; Adobe Acrobat Reader .— <URL:http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m16-42.pdf>. Моделирование полевых полупроводниковых приборов в САПР ISE TCAD : учебное пособие для вузов / Во-</p>

	ронеж. гос. ун-т; сост.: В.В. Асессоров, Г.В. Быкадорова, А.Ю. Ткачев — Воронеж : ЛОП ВГУ, 2007 .— 27 с.
--	--

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
8	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
9	ЭБС Лань
10	ЭБС «Университетская библиотека online»
11	ЭБС «Электронная библиотека технического ВУЗа» (ЭБС «Консультант студента»)*
12	https://edu.vsu.ru – Образовательный портал "Электронный университет ВГУ"

16. Учебно-методическое обеспечение для организации самостоятельной работы:

№ п/п	Источник
1	Быкадорова, Галина Владимировна. Системы приборно-технологического проектирования [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.В. Быкадорова, Е.Н. Бормонтов, А.Н. Цоцорин ; Воронеж. гос. ун-т .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2019 .— Загл. с титула экрана .— Свободный доступ из интрасети ВГУ .— Текстовый файл .— ISBN 978-5-9273-2930-4 .— <URL:http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m19-234.pdf>.
2	Приборно-технологическое проектирование элементной базы мощной СВЧ-электроники : учебно-методическое пособие : [для студ. 1 и 2 к. очной формы обуч. физ. фак. Воронеж. гос. ун-та, по программам магистратуры; для направлений : 03.04.03 - Радиофизика , 11.03.04 -Электроника и наноэлектроника] / Воронеж. гос. ун-т ; [сост.: Р.П. Алексеев и др.] .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2016 .— 69 с. : ил. — Библиогр.: с.68-69. Издание на др. носителе: Приборно-технологическое проектирование элементной базы мощной СВЧ-электроники [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для студ. 1 и 2 к. очной формы , обуч. физ. фак. Воронеж. гос. ун-та, по программам магистратуры; для направлений : 03.04.03 - Радиофизика , 11.03.04 -Электроника и наноэлектроника] / Воронеж. гос. ун-т ; [сост.: Р.П. Алексеев и др.] .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2016.
3	Приборно-технологическое проектирование полевых полупроводниковых приборов : учебно-методическое пособие : [для студ. 1-го и 2-го к. очной формы обучения физ. фак., обуч. по программам магистратуры; для направлений: 03.04.03 - Радиофизика, 11.04.04 - Электроника и наноэлектроника] / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: А.В. Быстрицкий [и др.] .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2017 .— 36 с. : ил. — Библиогр.: с. 36. Издание на др. носителе: Приборно-технологическое проектирование полевых полупроводниковых приборов [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для студ. 1-го и 2-го к. очной формы обучения физ. фак., обуч. по программам магистратуры; для направлений: 03.04.03 - Радиофизика, 11.04.04 - Электроника и наноэлектроника] / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: А.В. Быстрицкий [и др.] .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2017.
4	Основы работы в среде приборно-технологической САПР SENTAURUS : учебно-методическое пособие : [для студ. физ. фак. очной формы обучения по программам бакалавриата и магистратуры, для направлений: 03.03.03, 03.04.03 - Радиофизика; 11.03.04, 11.04.04 - Электроника и наноэлектроника] / Воронеж. гос. ун-т ; [сост.: Р.П. Алексеев и др.] .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2017 .— 96 с. : ил. — Библиогр.: с. 95-96. Издание на др. носителе: Основы работы в среде приборно-технологической САПР SENTAURUS [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для студ. физ. фак. очной формы обучения по программам бакалавриата и магистратуры направлений : 03.03.03, 03.04.03 - Радиофизика , 11.03.04 , 11.04.04 -Электроника и наноэлектроника] / Воронеж. гос. ун-т ; [сост.: Р.П. Алексеев и др.] .— Воронеж : Издательский

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

Образовательные технологии, используемые при реализации различных видов учебной работы по дисциплине, предусматривают широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Количество академических часов, проводимых в интерактивной форме, составляет 12 акад. часов (очная форма обучения).

В освоении дисциплины используются следующие образовательные технологии:

- чтение лекций с использованием мультимедийного проектора для компьютерной презентации и видеоматериалов;
- лабораторные занятия, тестирование;
- написание курсовой работы;
- самостоятельная работа студентов с учебной литературой и первоисточниками, работа с Интернет ресурсами;
- индивидуальные консультации;
- экзамен.

Для реализации компетентного подхода применяются следующие методы активизации образовательной деятельности.

1. Информационные технологии – обучение в электронной образовательной среде с целью расширения доступа к образовательным ресурсам, увеличения контактного взаимодействия с преподавателем, построения индивидуальных траекторий подготовки и объективного контроля и мониторинга знаний студентов.

2. Работа в команде – совместная деятельность студентов в группе под руководством лидера, направленная на решение общей задачи путем творческого сложения результатов индивидуальной работы членов команды с делением ответственности и полномочий.

5. Проблемное обучение – стимулирование студентов к самостоятельной «добыче» знаний, необходимых для решения конкретной проблемы: метод проектов – развитие познавательных навыков студентов, умений самостоятельно конструировать свои знания, ориентироваться в информационном пространстве, развивать критическое

Дисциплина может быть реализована с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ, электронного обучения (ЭО) или смешанного обучения.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционные занятия проводятся в мультимедийном кабинете кафедры ФППиМЭ, оснащённым стационарным мультимедийным проектором AcerX125H – 1 шт., ноутбук emachines e510 – 1 шт., экран, с лицензионным программным обеспечением Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019; ПО Kaspersky Endpoint Security, договор 3010-07/04-20 от 27.01.2020.

Для проведения лабораторных работ необходим компьютерный класс с лицензионным программным обеспечением - лаборатория вычислительных систем и математического моделирования, оснащенная сервером на базе 2-х процессоров Xeon E5-2620 v3. – 1 шт., компьютеры HP ProDesk 400 G6 SFF – 9 шт., компьютеры Pentium Dual Core - 2 шт. , подключенные к сети Интернет с обеспечением доступа к элек-

тронной информационно-образовательной среде ВГУ и с лицензионным программным обеспечением: Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019; программный комплекс для ЭВМ – MathWorks Total Academic Headcount, Университетская лицензия, договор 3010-07/01-19 от 09.01.19; ПО Kaspersky Endpoint Security, договор 3010-07/04-20 от 27.01.2020.

Аудитория для самостоятельной работы студентов оснащена сервером на базе 2-х процессоров Xeon E5-2620 v3. – 1 шт., компьютеры HP ProDesk 400 G6 SFF – 9 шт., компьютеры Pentium Dual Core - 2 шт., подключенные к сети Интернет с обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ВГУ и лицензионным программным обеспечением: Microsoft Windows 7, Windows 10, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019; ПО Kaspersky Endpoint Security, договор 3010-07/04-20 от 27.01.2020.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием соответствующих разделов дисциплины

2 семестр

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
1	Введение в САПР приборно-технологического проектирования	ПК-2	ПК-2.2	Вопросы 1-8; Тесты 1,2,3
2	Основы приборно-технологического проектирования в специализированных пакетах САПР TCAD	ПК-2	ПК-2.2	Вопросы 9-14; Тесты 12, 16 - 20 Отчет по лабораторной работе 1
3	Приборно-технологическое проектирование элементной базы радиоэлектроники в специализированном пакете САПР TCAD	ПК-2	ПК-2.2	Вопросы 5-19; Тесты 4 – 10, 15 Отчет по лабораторной работе 2
4	Создание и моделирование приборов микроэлектроники в специализированном пакете САПР TCAD	ПК-2	ПК-2.2	Вопрос 20; Тесты 11, 14 Отчеты по лабораторным работам 3-6
5	Моделирование термомеханических, электрических, оптических и магнитных явлений в полупроводниковых структурах	ПК-2	ПК-2.2	Вопросы 21-23; Тесты 13, 14 Отчеты по лабораторным работам 3-6
6	Проектирование конструкции, технологии и электрофизических характеристик элементной базы радиоэлектроники	ПК-2	ПК-2.2	Отчеты по лабораторным работам 3-6
Промежуточная аттестация: форма контроля - зачет				Вопросы к зачету Задания к зачету

3 семестр

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
1	Современная компонентная база радиоэлектроники	ПК-2	ПК-2.4	
2	Проектирование биполярных элементов СВЧ-электроники	ПК-2	ПК-2.4	Отчет по лабораторной работе 1; курсовая работа
3	Проектирование полевых элементов СВЧ-электроники	ПК-2	ПК-2.4	Отчет по лабораторной работе 2; курсовая работа
4	Проектирование VDMOS- и LDMOS-транзисторов для СВЧ-электроники	ПК-2	ПК-2.4	Отчеты по лабораторным работам 3-6; курсовая работа
Промежуточная аттестация: форма контроля - экзамен				Комплект КИМ

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: тестовые задания, отчеты о выполнении лабораторных работ, выполнение заданий к зачету.

2 семестр

Тестовые задания

Тест 1. Снижение стоимости проектирования изделий микроэлектроники при использовании TCAD происходит:

- а) за счет уменьшения числа экспериментов;
- б) за счет того, что отпадает необходимость ставить эксперименты в процессе разработки нового технологического процесса;
- в) за счет сокращения затраченного времени;
- г) за счет уменьшения стоимости обучения и подготовки персонала.

Тест 2. В САПР TCAD физические модели представлены:

- а) в виде системы алгебраических уравнений;
- б) в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений;
- в) в виде системы нелинейных дифференциальных уравнений с соответствующими граничными и начальными условиями;
- г) в виде набора значений физических величин.

Тест 3. Выбор размеров элементов сетки в методе конечных элементов определяется:

- а) достижением приемлемой сходимости и точности расчета;
- б) затратами времени на вычисление;

в) размерами и формой структуры, наличием и величиной градиентов физических параметров, наличием других неоднородностей структуры (например, интерфейсов);

г) всеми перечисленными факторами в совокупности.

Тест 4. Процесс ионной имплантации в аморфном полупроводнике описывается с помощью:

- а) симметричного распределения Гаусса;
- б) сопряженного распределения Гаусса;
- в) распределения Гаусса с обобщенным экспоненциальным «хвостом»;
- г) распределения Пирсон-IV;
- д) распределения Пирсон-IV с линейно-экспоненциальным «хвостом».

Тест 5. Скорость протекания процесса при окислении кремния определяется:

- а) скоростью поставки окислителя к поверхности кремния;
- б) скоростью диффузии окислителя в слое окисла по направлению к границе окисел-кремний;
- в) скоростью протекания химической реакции на поверхности окисла;
- г) скоростью протекания химической реакции на границе окисел-кремний.

Тест 6. Наклон подложки относительно направления падения ионного пучка при проведении процесса ионной имплантации необходим для:

- а) предотвращения распыления материала с поверхности подложки;
- б) более равномерного распределения примеси в латеральном направлении;
- в) предотвращения эффекта каналирования ионов в монокристаллическом полупроводнике;
- г) уменьшения нагрева поверхности подложки.

Тест 7. Количество введенной в полупроводник примеси в процессах диффузии и ионной имплантации характеризуется:

- а) полным количеством атомов примеси;
- б) концентрацией примеси;
- в) дозой примеси;
- г) дозой активной примеси.

Тест 8. Скорость протекания процесса при окислении кремния определяется:

- а) скоростью поставки окислителя к поверхности кремния;
- б) скоростью диффузии окислителя в слое окисла по направлению к границе окисел-кремний;
- в) скоростью протекания химической реакции на поверхности окисла;
- г) скоростью протекания химической реакции на границе окисел-кремний.

Тест 9. При моделировании процесса окисления кремния учитываются:

- а) зависимость скорости процесса от температуры;
- б) зависимость скорости процесса от парциального давления компонентов окисляющей среды;
- в) зависимость скорости процесса от ориентации подложки, механических напряжений и уровня легирования;
- г) от всех перечисленных факторов.

Тест 10. Сегрегация примеси - это:

- а) явление перераспределения примеси между окислом и полупроводником, происходящее при высокой температуре из-за различия растворимости и коэффициентов диффузии примеси в полупроводнике и окисле;
- б) встраивание атомов примеси в кристаллическую решетку полупроводника;
- в) обеднение примесью поверхности полупроводника, происходящее при его нагреве в инертной среде;
- г) перераспределение примеси в объеме полупроводника при высокой температуре.

Тест 11. При моделировании геометрии структуры и сетки конечных элементов в SProcess координатная ось X направлена:

- а) вдоль базового среза пластины;
- б) перпендикулярно к поверхности вглубь пластины;
- в) вдоль поверхности пластины перпендикулярно базовому срезу;
- г) перпендикулярно от поверхности пластины.

Тест 12. Командному файлу программного модуля SProces присваивается расширение:

- а) cmd;
- б) grd;
- в) dat;
- г) lyt.

Тест 13. Результаты моделирования сохраняются в:

- а) графическом формате;
- б) цифровом формате, пригодном только для обработки с помощью табличного процессора (такого, как Microsoft Excel);
- в) цифровом формате, позволяющем получать графические 3D-, 2D- и 1D-распределения физических величин;
- г) цифровом формате, пригодном для обработки с помощью табличного процессора, а также позволяющем получать графические 3D-, 2D- и 1D-распределения физических величин с помощью встроенных в программный пакет собственных модулей.

Тест 14. При моделировании шаблонов координатная оси X и Y направлены:

- а) X - вдоль базового среза пластины, Y – перпендикулярно ей в плоскости пластины;
- б) X - перпендикулярно к поверхности вглубь пластины, Y – вдоль базового среза;
- в) X -вдоль поверхности пластины перпендикулярно базовому срезу, Y – вдоль базового среза пластины;
- г) X - вдоль поверхности пластины перпендикулярно базовому срезу, Y - перпендикулярно от поверхности пластины.

Тест 15. При рисовании шаблонов закрашенные области соответствуют:

- а) участкам, которые должны быть закрыты маской;
- б) участкам, которые должны быть открыты для воздействия;
- в) в зависимости от заданного типа фоторезиста могут соответствовать закрытым либо открытым участкам.

Тест 16. При описании технологического процесса в Ligament Flow Editor используются:

- а) только стандартные модули для описания отдельных технологических операций;
- б) только модули, самостоятельно созданные пользователями для описания отдельных технологических операций;
- в) стандартные и пользовательские модули для описания отдельных технологических операций;
- г) стандартные и пользовательские модули для описания отдельных технологических операций, а также стандартные команды языка программирования высокого уровня, позволяющие управлять процессом моделирования.

Тест 17. Для визуализации двухкоординатных графиков в Sentaurus TCAD используется:

- а) модуль Inspect;
- б) модуль Tecplot;
- в) внешние графические программы;
- г) модули Inspect и Tecplot.

Тест 18. Профили распределения примесей, сохраненные в файле с расширением tdr, могут быть представлены в виде:

- а) графиков;
- б) цветовых полей;
- в) таблиц данных;
- г) функциональной зависимости.

Тест 19. При отображении графиков в программном модуле Inspect величины, значения которых откладываются по осям X и Y:

- а) определяются автоматически в соответствии с порядком сохранения данных в файле с расширением plt;
- б) по оси X всегда откладывается время, по оси Y – определяется пользователем;
- в) задается пользователем;
- г) по оси X всегда откладывается координата, по оси Y – определяется пользователем.

Тест 20. Узлом эксперимента в Sentaurus Workbench называется:

- а) ячейка, содержащая иконку с обозначением приложения;
- б) ячейка, содержащая значение, которое присваивается параметру;
- в) ячейка, содержащая имя параметра.

Тест 21. Численные значения параметрам, которые используются в эксперименте, присваиваются:

- а) в момент заполнения таблицы эксперимента в Sentaurus Workbench;
- б) при выполнении расчета;
- в) при выполнении препроцессорной подготовки.

Тест 22. Серый цвет узла эксперимента обозначает:

- а) «расчет выполнен»;
- б) «расчет не проводился»;
- в) «ошибка в расчете».

Перечень тем лабораторных работ

Лабораторная работа 1. Изучение состава специализированного пакета приборно-технологического проектирования САПР TCAD. Освоение интерфейса пользователя. Изучение программных средств визуализации результатов экспериментов

Лабораторная работа 2. Освоение программы технологического моделирования специализированного пакета приборно-технологического проектирования программ САПР TCAD. Освоение программы моделирования электрофизических параметров специализированного пакета приборно-технологического проектирования программ САПР TCAD

Лабораторная работа 3. Проектирование технологии эпитаксиально-планарного диода

Лабораторная работа 4. Проектирование технологии эпитаксиально-планарного $n-p-n$ -транзистора с изоляцией $p-n$ -переходом

Лабораторная работа 5. Проектирование технологии и исследование электрофизических параметров n -МОП-структур.

Лабораторная работа 6. Проектирование технологии и исследование электрофизических параметров FinFet-структур.

Перечень заданий к зачёту

1. Составить фрагмент командного файла программного модуля Sprocess для выполнения следующей последовательности технологических операций:
 - исходная подложка марки КЭФ0,2 с ориентацией (110);
 - окисление в сухом кислороде в течение 1,5 часа при температуре 1200 °C;
 - нормальная имплантация ионов бора с энергией 100 кэВ и дозой 100 мкКл/см².
2. Составить фрагмент командного файла программного модуля Sprocess для выполнения следующей последовательности технологических операций:
 - исходная подложка марки КЭФ0,2 с ориентацией (110);
 - окисление в сухом кислороде в течение 1,5 часа при температуре 1200 °C;
 - нормальная имплантация ионов бора с энергией 100 кэВ и дозой 100 мкКл/см².
3. Какие последовательности технологических операций моделируют следующие фрагменты командного файла программного модуля Sprocess:

3.1 `deposit Nitride thickness = 700<nm>`
`etch Nitride etchstop = Oxide rate = 100 type = anisotropic \`
`etchstop.overetch = 0.1`

3.2 `mask name=c_windows segments={-(1.85+$L_gate) 1.85+$L_gate} negative`
`photo mask = c_windows thickness = 1000<nm>`
`etch Oxide etchstop = Silicon rate = 100 type = anisotropic etch\`
`stop.overetch = 0.1`
`strip Photoresist`

3.3 `set L_gate00 @L_gate0@`
`set L_gate [expr 0.5*$L_gate00]`
`set k1 @k@`
`set D1dd 0.125`
`set L_gate1 [expr ($L_gate+0.05)*$k1]`
`set X_R [expr ($L_gate)+3.5]`
`set X_L [expr -($L_gate)-3.5]`

3.4 `region Silicon xlo = Top xhi = Bottom ylo = Left yhi = Right`
`init field=Boron concentration = 1e+15 wafer.orient=100`

3.5 `deposit PolySilicon thickness = 1000<nm>`
`mask name = gate_mask segments = {0 0.2+$L_gate} negative`
`photo mask = gate_mask thickness = 1000<nm>`
`etch PolySilicon etchstop = oxide type = anisotropic \`
`rate = 100 strip Photoresist`
`diffuse temperature = 1100 time = 15 O2`

3.6 `implant Phosphorus dose = 500/1.6e-13 energy = 50 tilt = 0`
`diffuse temperature = 1000 time = 3 O2`

3.7 `deposit Nitride type=fill coord=-1.0`
`mask name = gate_SI3N4 segments = {-(0.175+$L_gate)+$D1dd+$L_`
`gate1-0.02 - (0.175+$L_gate)+$D1dd+$L_gate1+0.02} negative`
`photo mask = gate_SI3N4 thickness = 1000<nm>`
`etch Nitride etchstop = oxide type = anisotropic rate = 100`

```
strip Photoresist
```

```
3.8 contact x=-0.5 y=-( $L_gate+0.175)+$L_gate1-0.035 point name="gate"
    \PolySilicon
    contact x=-0.5 y = $L_gate+0.175-0.025 point name="gate" PolySilicon
    contact x = -0.3 y = -( $L_gate+2.675) point name = "source" Aluminum
    contact x = -0.3 y = $L_gate+2.675 point name = "drain" Aluminum
    contact bottom Silicon name = "substrate"
```

4. Какие последовательности моделируют следующие фрагменты командного файла программного модуля Inspect:

```
4.1 set dset @plot@
    set data [file rootname $dset]
    proj_load $dset
```

```
4.2 cv_create IdVg "$data gate1 InnerVoltage" "$data drain TotalCurrent" y
    cv_display IdVg y
```

```
4.3 cv_setCurveAttr IdVg "IdVg" black solid 2 none 3 defcolor 1 defcolor
    gr_setAxisAttr X {Gate Voltage (V)} 12 {} {} black 1 12 0 5 0
    gr_setAxisAttr Y {Drain Current (A)} 12 {} {} black 1 12 0 5 0
```

```
4.4 set VT [ f_VT IdVg ]
    ft_scalar VT $VT
```

```
4.5 set VT1 [ f_VT1 IdVg ]
    ft_scalar VT1 $VT1
```

```
4.6 set S [f_gm IdVg]
    ft_scalar S $S
```

```
4.7 set Rout [cv_compute "vecvaly( 1/diff(<idvd5>), vecvalx(<idvd5>,
    vecmax(<idvd5>)))" A A A A]
    ft_scalar Rout $Rout
```

```
4.8 set Ron [cv_compute "vecvaly( 1/diff(<idvd5>), vecvalx(<idvd5>,
    vecmin(<idvd5>)))" A A A A]
    ft_scalar Ron $Ron
```

5. Каково назначение и значение параметра AreaFactor в блоке Physics командного файла программного модуля SDevice:

```
Physics { AreaFactor = 1e3 EffectiveIntrinsicDensity(Slotboom)
    Mobility(DopingDependence
    HighFieldSaturation(GradQuasiFermi)
    NormalElectricField)
    Recombination(SRH(DopingDependence)
    Band2Band Auger Avalanche)
    Temperature = 300 }
```

6. Какие электрофизические характеристики будут рассчитаны в блоке Plot командного файла программного модуля SDevice:

```
Plot{ AcceptorConcentration DonorConcentration DopingConcentration
    TotalConcentration eDensity hDensity eMobility hMobility
    BuiltinPotential ElectricField ElectrostaticPotential SpaceCharge
```

SRHRecombination TotalRecombination eCurrentDensity
 hCurrentDensity TotalCurrentDensity eDriftVelocity hDriftVelocity
 eGradQuasiFermi/Vector hGradQuasiFermi/Vector
 eQuasiFermiPotential hQuasiFermiPotential AvalancheGeneration}?

3 семестр

Для текущего контроля успеваемости в третьем семестре используется устный опрос, отчеты о выполнении лабораторных работ, выполнение курсовых работ.

1. Типы СВЧ-транзисторов.
2. СВЧ-транзисторы на основе арсенида галлия.
3. HEMT-транзисторы на нитриде галлия.
4. Радиационно-стойкая элементная база СВЧ-электроники на основе карбида кремния.
5. Биполярные СВЧ-транзисторы.
6. Полевые СВЧ-транзисторы.
7. DMOS-, VDMOS-, LDMOS-транзисторы.
8. Общая характеристика процесса приборно-технологического проектирования. Маршруты и этапы проектирования. Восходящее и нисходящее проектирование.
9. Основы функционально-логического, схемотехнического и физико-топологического проектирования.
10. Виды и способы проектирования.
11. Модели отдельных технологических процессов, их классификация, история развития.
12. Роль математического моделирования технологических процессов в микроэлектронике и твердотельной электронике.
13. Программы математического моделирования технологических процессов.
14. Одно-, двух- и трехмерное моделирование технологических процессов для кремния, германия и сложных полупроводников.
15. Моделирование стандартных технологических процессов: диффузия, имплантация, окисление, травление, осаждение, силицидизация.
16. Конструкция и принцип действия биполярного СВЧ-транзистора. Особенности СВЧ-БТ.
17. Конструкция и принцип действия полевого СВЧ-транзистора.
18. Типы СВЧ-ПТ.
19. СВЧ-ПТ с изолированным затвором.
20. СВЧ-ПТ с затвором на основе $p-n$ -перехода.
21. СВЧ-ПТ с затвором на основе барьера Шоттки.
22. Конструкция и принцип действия VDMOS- и LDMOS-транзисторов для СВЧ-электроники.

Перечень тем лабораторных работ

- Лабораторная работа 1. Топология и технология создания биполярной СВЧ-структуры.
- Лабораторная работа 2. Разработка проекта для приборно-технологического проектирования биполярной СВЧ-структуры.
- Лабораторная работа 3. Топология и технология создания полевой СВЧ-структуры с изолированным затвором.
- Лабораторная работа 4. Разработка проекта для приборно-технологического проектирования полевой СВЧ-структуры с изолированным затвором.
- Лабораторная работа 5. Топология и технология создания СВЧ LDMOS-структуры.

Лабораторная работа 6. Разработка проекта для приборно-технологического проектирования полевой СВЧ LDMOS-структуры.

Примерный перечень тем курсовых работ

1. Сквозное проектирование технологии латерального МОП-транзистора в среде приборно-технологической САПР TCAD.
2. Сквозное проектирование электрофизических параметров латерального МОП-транзистора в среде приборно-технологической САПР TCAD.
3. Сквозное проектирование технологии нано-КНИ-транзистора в среде САПР TCAD.
4. Сквозное проектирование электрофизических параметров нано-КНИ-транзистора в среде САПР TCAD.
5. Сквозное моделирование технологии создания биполярных транзисторных структур в среде приборно-технологической САПР TCAD.
6. Сквозное проектирование технологии субмикронного МОП-транзистора в среде приборно-технологической САПР TCAD.
7. Сквозное проектирование электрофизических параметров субмикронного МОП-транзистора в среде приборно-технологической САПР TCAD.
8. Сквозное проектирование эпитаксиально-планарного $n-p-n$ -транзистора с эмиттерной стенкой и щелевой изоляцией в среде приборно-технологической САПР TCAD.
9. Сквозное проектирование LDMOS-структуры в среде приборно-технологической САПР TCAD.
10. Сквозное проектирование самосовмещенной технологии планарного $n-p-n$ -транзистора в среде приборно-технологической САПР TCAD.
11. Сквозное проектирование UDMOS-структуры в среде приборно-технологической САПР TCAD.
12. Сквозное проектирование технологии и исследование FinFet-структуры в среде приборно-технологической САПР TCAD.

20.2 Промежуточная аттестация

2 семестр

Промежуточная аттестация по дисциплине во втором семестре – *зачет*. Оценка за освоение дисциплины определяется ведущим дисциплину преподавателем как экспертом.

Перечень вопросов к зачету

1. Физическое и математическое моделирование процессов в микроэлектронике как инструмент оптимизации параметров ИС
2. Современные компьютерные системы приборно-технологического проектирования в микроэлектронике
3. Общая характеристика процесса проектирования: маршруты и этапы проектирования.
4. Общая характеристика процесса проектирования: восходящее и нисходящее проектирование.
5. Функционально-логическое, схемотехническое, физико-топологическое и приборно-технологическое проектирование

6. Методы описания элементной базы микроэлектроники и твердотельной электроники на различных этапах проектирования
7. Сравнение различных технологий и методологий проектирования
8. Поколения САПР TCAD
9. Среда приборно-технологического моделирования САПР TCAD
10. Системные средства САПР TCAD: интерфейс пользователя
11. Системные средства САПР TCAD: построение и редактирование создаваемых проектов
12. Системные средства САПР TCAD: организация вычислительного процесса
13. Системные средства САПР TCAD: работа с программными пакетами по планированию экспериментов, оптимизации и статистическому анализу
14. Визуализация результатов экспериментов
15. Одномерное моделирование технологических процессов для кремния, германия и сложных полупроводников
16. Двух- и трехмерное моделирование технологических процессов для кремния, германия и сложных полупроводников
17. Моделирование стандартных технологических процессов: диффузия, окисление
18. Моделирование стандартных технологических процессов: имплантация
19. Моделирование стандартных технологических процессов: травление, осаждение
20. Создание и редактирование двух- и трехмерных приборных структур и эмуляция трехмерных технологических процессов.
21. Многомерное моделирование электрофизических характеристик полупроводниковых приборов
22. Двух- и трехмерное моделирование термомеханических, электрических, оптических и магнитных явлений в полупроводниковых структурах
23. Современные методы приборно-технологического проектирования полупроводниковых приборов и элементов интегральных схем

Для промежуточного контроля успеваемости во втором семестре используется устный опрос, тестирование, отчеты о ходе выполнения лабораторных работ, на основе которых выставляется предварительная оценка *зачет/незачет*

При оценке освоения обучающегося программы спецкурса «Приборно-технологическое проектирование элементной базы радиоэлектронных устройств» используются следующие критерии:

- уровень профессиональной подготовки;
- качество и своевременность выполнения лабораторных работ;
- правильность ответов на тесты;
- ответы на вопросы.

Уровень профессионализма (профессиональные знания, умения, навыки и компетенции) оценивается по следующим показателям:

- умение формулировать цели исследований;
- адекватное применение физико-математического аппарата для решения поставленных задач;
- адекватная рефлексия выполняемой научно-практической деятельности.

Критерии оценки работы обучающихся, которые соотносятся с уровнями сформированности компетенций:

- «*зачтено*» выставляется при полном соответствии работы обучающегося всем вышеуказанным показателям. Соответствует сформированности индикаторов компетенций: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются

систематически и в полном объёме. Данный уровень обязателен для всех осваивающих ООП;

- «незачтено» выставляется в случае несоответствия работы обучающегося всем требуемым показателям, неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении заданий, предусмотренных программой спецкурса.

3 семестр

Комплект КИМ

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Физическое и математическое моделирование процессов в микроэлектронике как инструмент оптимизации параметров компонентной базы радиоэлектроники
2. Биполярные кремниевые СВЧ-транзисторы

Контрольно-измерительный материал № 2

1. Современные компьютерные системы приборно-технологического проектирования элементной базы радиоэлектроники
2. Кремниевые полевые СВЧ-DMOS-транзисторы

Контрольно-измерительный материал № 3

1. Общая характеристика процесса проектирования: маршруты и этапы проектирования
2. Кремниевые полевые СВЧ-VDMOS-транзисторы

Контрольно-измерительный материал № 4

1. Общая характеристика процесса проектирования: восходящее и нисходящее проектирование.
2. Кремниевые полевые СВЧ-LDMOS-транзисторы

Контрольно-измерительный материал № 5

1. Функционально-логическое, схемотехническое, физико-топологическое и приборно-технологическое проектирование
2. СВЧ-транзисторы на основе арсенида галлия

Контрольно-измерительный материал № 6

1. Методы описания элементной базы микроэлектроники и твердотельной электроники на различных этапах проектирования
2. СВЧ-HEMT-транзисторы на нитриде галлия

Контрольно-измерительный материал № 7

1. Сравнение различных технологий и методологий проектирования
2. Конструкция и принцип действия биполярного СВЧ-транзистора. Особенности СВЧ-БТ

Контрольно-измерительный материал № 8

1. Поколения САПР TCAD
2. Приборно-технологическое моделирование топологии и технологии изготовления активных областей биполярного СВЧ-транзистора

Контрольно-измерительный материал № 9

1. Среда приборно-технологического моделирования САПР TCAD
2. Расчет электрофизических параметров и характеристик биполярного СВЧ-транзистора

Контрольно-измерительный материал № 10

1. Системные средства САПР TCAD: интерфейс пользователя
2. Конструкция и принцип действия полевого СВЧ-транзистора

Контрольно-измерительный материал № 11

1. Системные средства САПР TCAD: построение и редактирование создаваемых проектов.
2. Типы СВЧ-ПТ: с изолированным затвором, затвором на основе $p-n$ -перехода, затвором на основе барьера Шоттки

Контрольно-измерительный материал № 12

1. Современные методы приборно-технологического проектирования полупроводниковых приборов и элементов интегральных схем
2. Приборно-технологическое моделирование топологии и технологии изготовления активных областей полевого СВЧ-транзистора

Контрольно-измерительный материал № 13

1. Системные средства САПР TCAD: построение и редактирование создаваемых проектов
2. Расчет электрофизических параметров и характеристик полевого СВЧ-транзистора

Контрольно-измерительный материал № 14

1. Конструкция и принцип действия VDMOS-транзисторов для СВЧ-электроники
2. Системные средства САПР TCAD: организация вычислительного процесса

Контрольно-измерительный материал № 15

1. Конструкция и принцип действия LDMOS-транзисторов для СВЧ-электроники.
2. Системные средства САПР TCAD: работа с программными пакетами по планированию экспериментов, оптимизации и статистическому анализу

Контрольно-измерительный материал № 16

1. Приборно-технологическое моделирование топологии и технологии изготовления активных областей VDMOS-транзисторов
2. Визуализация результатов экспериментов

Контрольно-измерительный материал № 17

1. Приборно-технологическое моделирование топологии и технологии изготовления активных областей LDMOS-транзисторов
2. Одномерное моделирование технологических процессов для кремния, германия и сложных полупроводников

Контрольно-измерительный материал № 18

1. Расчет электрофизических параметров и характеристик VDMOS-транзисторов
2. Двух- и трехмерное моделирование технологических процессов для кремния, германия и сложных полупроводников

Контрольно-измерительный материал № 19

1. Многомерное моделирование электрофизических характеристик полупроводниковых приборов
2. Расчет электрофизических параметров и характеристик LDMOS-транзисторов

Примерный перечень дополнительных вопросов к экзамену

1. Назовите известные Вам САД приборно-технологического проектирования.
2. К какому поколению САПР относится система приборно-технологического моделирования САПР Sentaurus?
3. Назовите основные программные модули для оптимизации расчетной сетки при приборно-технологическом проектировании.
4. Какие программные модули предназначены для визуализации процессов моделирования в САПР TCAD?
5. Какие модели диффузии включены в САПР Sentaurus для моделирования высокотемпературных процессов создания элементов микро- и нанoeлектроники?
6. Какие модели ионной имплантации включены в САПР Sentaurus для моделирования процессов создания элементов микро- и нанoeлектроники?
7. Какие модели окисления включены в САПР Sentaurus для моделирования процессов окисления при создании элементов микро- и нанoeлектроники?
8. Запишите фрагмент командного файла программного модуля Sprocess для моделирования щелевой изоляции.

Промежуточная аттестация в третьем семестре по дисциплине – экзамен. В приложение к диплому вносится оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно*.

Оценка уровня освоения дисциплины «Приборно-технологическое проектирование элементной базы радиоэлектронных устройств» осуществляется по следующим показателям:

- качество и своевременность выполнения лабораторных работ;
- качество и своевременность выполнения курсовых работ;

- полнота ответов на вопросы контрольно-измерительного материала;
- полнота ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки освоения дисциплины «Приборно-технологическое проектирование элементной базы радиоэлектронных устройств»:

– оценка *отлично* выставляется при полном соответствии работы студента всем вышеуказанным показателям. Соответствует высокому (углубленному) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически, в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей повышенный (продвинутый) уровень;

– оценка *хорошо* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует одному из перечисленных показателей или в случае предоставления курсовых работ и отчетов по лабораторным работам позже установленного срока. Соответствует повышенному (продвинутому) уровню сформированности компетенций: компетенции в целом сформированы, но проявляются и используются фрагментарно, не в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей пороговый (базовый) уровень;

– оценка *удовлетворительно* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует любым двум из перечисленных показателей. Соответствует пороговому (базовому) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы в общих чертах, проявляются и используются ситуативно, частично. Данный уровень обязателен для всех осваивающих основную образовательную программу;

– оценка *неудовлетворительно* выставляется в случае несоответствия работы студента всем показателям, его неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении лабораторных работ, предусмотренных программой дисциплины.

Факт невыполнения требований, предъявляемых к студенту при освоении дисциплины «Приборно-технологическое проектирование электронной компонентной базы» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *неудовлетворительно*.

Если студент не осваивает дисциплину в установленном программой объеме и в сроки, определенные графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.