МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ

Документ подписан электронной подписью
Сертификат: 1c6cfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820
Владелец: Троян Павел Ефимович
Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРИБОРОВ В МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКЕ

Уровень основной образовательной программы *бакалавриат*

Направление(я) подготовки (специальность) *11.03.03 Конструирование и технология электронных средств*

Профиль *Проектирование и технология электронно-вычислительных средств*

Форма обучения *очная*

Факультет *безопасности*

Кафедра *Комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем (КИБЭВС)*

Курс *4* **Семестр** *7, 8*

Учебный план набора 2013 года и последующих лет.

Распределение рабочего времени:

№	Виды учебной работы	Семестр 7	Семестр 8	Всего	Единицы
1.	Лекции	18	не предусмотрено	18	часов
2.	Лабораторные работы	36	не предусмотрено	36	часов
3.	Практические занятия	не предусмотрено	8	8	часов
4.	Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)	не предусмотрено	4	4	часов
5.	Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)	54	12	66	часов
6.	Из них в интерактивной форме	20	4	24	часов
7.	Самостоятельная работа студентов (СРС)	54	24	78	часов
8.	Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)	108	36	144	часов
9.	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена	36	не предусмотрено	36	часов
10.	Общая трудоемкость (Сумма 8,9)	144	36	180	часов
	(в зачетных единицах)	4	1	5	ЗЕТ

Зачет *не предусмотрено* **Диф. зачет** *8* **семестр**

Экзамен *7* **семестр**

Томск 2016

Согласована на портале № 4211

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 9 от « 8 » 11 2016 г.

Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств, утвержденного приказом № 1333 от 12.11.2015 г.,
рассмотрена и утверждена на заседании кафедры «___» _____ 201__ г., протокол № _____.

Разработчик, доцент каф. КИБЭВС _____ Д.Д. Зыков

Зав. кафедрой КИБЭВС, профессор _____ А.А. Шелупанов

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами направления подготовки (специальности).

Декан Факультета Безопасности _____ Е.М. Давыдова

Зав. профилирующей
кафедрой КИБЭВС _____ А.А. Шелупанов

Зав. выпускающей
кафедрой КИБЭВС _____ А.А. Шелупанов

Эксперты:

Директор Центра системного
проектирования _____ /А.А. Конев/

Доцент каф. КИБЭВС _____ /М.А. Сопов/

Согласована на портале № 4211

1. Цели и задачи дисциплины

Обучение студентов общим принципам и подходам проектирования активных и пассивных микроэлектронных компонентов и устройств, в том числе СВЧ диапазона, с использованием современных пакетов 2D- и 3D-прикладных программ, обеспечивающих приборно-технологическое проектирование нового поколения, а также интеграцию этих средств с САПР СБИС. Изучение и освоение типовых базовых технологических процессов производства микроэлектронных компонентов и устройств с использованием современных методов моделирования с применением новейших программных продуктов.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Моделирование технологических процессов и приборов в микро- и наноэлектронике» Б1.В.ОД.20 относится к вариативной части дисциплин профессионального цикла. Для изучения дисциплины студентам необходимо предварительно освоить дисциплины «Информатика», «Численные методы», «Физические основы микро- и наноэлектроники», «Технология производства интегральных микросхем», «Проектирование интегральных микросхем и микропроцессоров».

Знания, полученные студентами при изучении данной дисциплины, используются в дальнейшем при изучении дисциплин профессионального цикла: «Управление качеством электронных средств».

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– способностью моделировать объекты и процессы, используя стандартные пакеты автоматизированного проектирования и исследования (ПК-1).

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать: методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации электронной компонентной базы с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств;

уметь: разрабатывать физические и математические модели приборов и устройств электроники и наноэлектроники; разрабатывать технологические маршруты их изготовления, применять новейшие технологические и конструкционные материалы;

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

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры	
		7	8
Аудиторные занятия (всего)	66	54	12
В том числе:	-	-	-
Лекции	18	18	не предусмотрено
Лабораторные работы (ЛР)	36	36	не предусмотрено
Практические занятия (ПЗ)	8	не предусмотрено	8
Семинары (С)	не предусмотрено		
Коллоквиумы (К)	не предусмотрено		
Курсовой проект/(работа) (аудиторная нагрузка)	4	не предусмотрено	4
Самостоятельная работа (всего)	78	54	24
В том числе:	-	-	-
Проработка лекционного материала	18	18	
Выполнение курсового проекта	24		24
Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	36	18	
Самостоятельное выполнение лабораторных работ	32	14	

Согласована на портале № 4211

Подготовка к контрольным работам	4	4	
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	36	36	
Общая трудоемкость час	180	144	36
Зачетные Единицы Трудоемкости	5	4	1

5. Содержание дисциплины

5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Лабораторные работы	Практич. занятия.	Самост. работа студента	Всего час	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
7 семестр							
1.	Изучение современных возможностей САПР для проектирования и технологии электронной компонентной базы	4	10		16	30	ПК-1
2.	Моделирование и расчет характеристик активных и пассивных микроэлектронных компонентов и устройств в среде Sentaurus TCAD	6	10		22	38	ПК-1
3.	Изучение базовых технологий изготовления активных и пассивных микроэлектронных компонентов и устройств	4	8		24	36	ПК-1
4.	Одно- и двухмерное моделирование технологических процессов в среде SentaurusTCAD в процессе проектирования активных и пассивных микроэлектронных компонентов и устройств	4	8		28	40	ПК-1
8 семестр							
5.	Курсовой проект			8	24		ПК-1

5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

№ п/п	Наименование разделов	Содержание разделов	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции (ОК, ПК, ПСК)
1.	Изучение современных возможностей САПР для проектирования и технологии электронной компонентной базы	Изучение современных возможностей САПР для проектирования и технологии электронной компонентной базы: • по проектированию и моделированию приборов и интегральных схем; • изготовлению фотошаблонов; • проектированию и изготовлению печатных плат.	4	ПК-1
2.	Моделирование и расчет характеристик активных и пассивных микроэлектронных компонентов и устройств в среде Sentaurus TCAD	Моделирование и расчет характеристик активных и пассивных микроэлектронных компонентов и устройств в среде Sentaurus TCAD: • трехмерное моделирование полупроводниковых субмикронных приборов, включающее моделирование технологического процесса формирования структуры прибора, механических напряжений внутри прибора и анализ трехмерного растекания носителей заряда; • моделирование кремниевых приборов и приборов с гетеропереходами (в том числе на основе SiC и GaN), приборов на основе материалов A3B5, использующих гетеропереходы (HEMT), фотодетекторов, светоизлучающих диодов (LED) и полупроводниковых лазеров.	6	ПК-1
3.	Изучение базовых технологий изготовления	Изучение базовых технологий изготовления активных и пассивных микроэлектронных компонентов и устройств,	4	ПК-1

Согласована на портале № 4211

	активных и пассивных микроэлектронных компонентов и устройств	• в том числе сверхвысокочастотных полосковых схем, адаптированных к новой электронной компонентной базе сверхвысокочастотного диапазона; • освоение технологии новых материалов и покрытий, обеспечивающих повышение надежности компонентов и интегральных схем на их основе.		
4.	Одно- и двухмерное моделирование технологических процессов в среде SentaurusTCAD в процессе проектирования активных и пассивных микроэлектронных компонентов и устройств	Одно- и двухмерное моделирование технологических процессов в среде SentaurusTCAD в процессе проектирования активных и пассивных микроэлектронных компонентов и устройств: • термическое окисление кремния; • диффузия в кремнии при высокой и низкой концентрации примеси; • ионная имплантация; • пучковый отжиг имплантированного кремния; • оптическая литография; • литография в глубокой УФ области.	4	ПК-1

5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин				
		1	2	3	4	5
Предшествующие дисциплины						
1.	Информатика	+	+	+	+	
2.	Численные методы			+	+	
3.	Физические основы микро- и наноэлектроники			+	+	
4.	Технология производства интегральных микросхем	+				
5.	Проектирование интегральных микросхем и микропроцессоров					+
Последующие дисциплины						
1.	Управление качеством электронных средств	+	+			

5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Перечень компетенций	Виды занятий				Формы контроля по всем видам занятий
	Л	Лаб	Пр	СРС	
ПК-1	+	+	+	+	Контрольная работа, отчет по лабораторной работе, отчет по курсовому проекту

Л – лекция, Пр – практические и семинарские занятия, Лаб – лабораторные работы, СРС – самостоятельная работа студента

6. Методы и формы организации обучения

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий в часах

Методы \ Формы	Лекции (час)	Лабораторные занятия	Практические занятия	Всего
IT-методы		16	4	20
Лекция «Обратная связь»	4			4
Итого интерактивных занятий	4	16	4	24

Согласована на портале № 4211

7. Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Тематика лабораторных работ	Трудо-емкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК
1.	1	Физическое моделирование транзистора Шоттки	6	ПК-1
2.	2	Физическое моделирование гетероструктурного транзистора AlGaAs/GaAs	6	ПК-1
3.	1, 3	Приборно-технологическое моделирование полупроводникового резистора на подложке GaAs (Ge, Si)	12	ПК-1
4.	2, 4	Приборно-технологическое моделирование диода Шоттки	12	ПК-1

8. Практические занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудо-емкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК
1.	5	Подготовка к выполнению курсового проекта	8	ПК-1

9. Самостоятельная работа

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Виды самостоятельной работы *(детализация)*	Трудо-емкость (час.)	Компетенции ОК, ПК, ПСК	Контроль выполнения работы (Опрос, тест, дом.задание, и т.д)
4 семестр					
1.	1-4	Проработка лекционного материала	18	ПК-1	Проверка контрольной работы
2.	1-4	Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	18	ПК-1	Защита отчетов по практическим работам
3.	1-4	Самостоятельное выполнение лабораторных работ	14	ПК-1	Защита отчетов по лабораторным работам
4.	1-4	Подготовка к контрольным работам	4	ПК-1	Проверка контрольной работы
5 семестр					
5.	5	Выполнение курсового проекта	24	ПК-1	Проверка курсового проекта

10. Примерная тематика курсовых проектов (работ)

1. Изучение современных возможностей САПР по проектированию и моделированию приборов и интегральных схем
2. Изучение современных возможностей САПР по изготовлению фотошаблонов
3. Изучение современных возможностей САПР по проектированию и изготовлению печатных плат
4. Моделирование технологического процесса формирования структуры прибора
5. Моделирование механических напряжений внутри прибора
6. Моделирование и анализ трехмерного растекания носителей заряда
7. Моделирование кремниевых приборов и приборов с гетеропереходами (в том числе на основе SiC и GaN)
8. Моделирование приборов на основе материалов A3B5, использующих гетеропереходы (HEMT)
9. Моделирование фотодетекторов, светоизлучающих диодов (LED) и полупроводниковых лазеров
10. Изучение базовых технологий изготовления сверхвысокочастотных полосковых схем, адаптированных к новой электронной компонентной базе сверхвысокочастотного диапазона
11. Освоение технологии новых материалов и покрытий, обеспечивающих повышение надежности компонентов и интегральных схем на их основе

Согласована на портале № 4211

12. Одно- и двухмерное моделирование термического окисления кремния
13. Одно- и двухмерное моделирование диффузии в кремнии при высокой и низкой концентрации примеси
14. Одно- и двухмерное моделирование ионной имплантации
15. Одно- и двухмерное моделирование пучкового отжига имплантированного кремния
16. Одно- и двухмерное моделирование оптической литографии
17. Одно- и двухмерное моделирование литография в глубокой УФ области

11. Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

Таблица 11.1 Балльные оценки для элементов контроля.

7 семестр (экзамен)

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
Посещение занятий	16	8	6	**30**
Лабораторные работы	0	16	12	**28**
Контрольная работа			30	**30**
Компонент своевременности	4	4	4	**12**
Итого максимум за период:	**20**	**28**	**52**	**100**
Нарастающим итогом	**20**	**48**	**100**	**100**

Таблица 11.2 Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Баллы на дату контрольной точки	**Оценка**
≥ 90 % от максимальной суммы баллов на дату КТ	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ	3
< 60 % от максимальной суммы баллов на дату КТ	2

Таблица 11.3 Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка (ГОС)	**Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен**	**Оценка (ECTS)**
5 (отлично) (зачтено)	**90 – 100**	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	**85 – 89**	B (очень хорошо)
	75 – 84	C (хорошо)
	70 – 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	**65 – 69**	
	60 – 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно), (не зачтено)	**Ниже 60 баллов**	F (неудовлетворительно)

Согласована на портале № 4211

12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

12.1. Основная литература

1. Зыков Д.Д., Осипов К.Ю. Проектирование и технология электронной компонентной базы. Основы САПР Synopsys TCAD: Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2012. – 76 с.

http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Zikov/%D0%97%D1%8B%D0%BA%D0%BE%D0%B2_%D0%94%D0%94_%D0%9E%D1%81%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%B2_%D0%9A%D0%AE_-_%D0%9F%D0%B8%D0%A2%D0%AD%D0%9A%D0%91.zip

12.2. Дополнительная литература

1. Реферативные журналы «Физика» и «Электроника».
2. Гусев, В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. – М.: ВШ, 2004. – 790 с.
3. Журнал «Известия вузов. Электроника».
4. Журнал «Известия вузов. Материалы».

12.3. Учебно-методические пособия и требуемое программное обеспечение

1. Зыков Д.Д. Проектирование и технология электронной компонентной базы: Лабораторный практикум. – Томск: ТУСУР, 2012. – 13 с.

http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Zikov/%D0%97%D1%8B%D0%BA%D0%BE%D0%B2_%D0%94%D0%94_%D0%9E%D1%81%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%B2_%D0%9A%D0%AE_-_%D0%9F%D0%B8%D0%A2%D0%AD%D0%9A%D0%91.zip

2. Зыков Д.Д. Проектирование и технология электронной компонентной базы: Методические указания по практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2012. – 50 с.

http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Zikov/%D0%97%D1%8B%D0%BA%D0%BE%D0%B2_%D0%94%D0%94_%D0%9E%D1%81%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%B2_%D0%9A%D0%AE_-_%D0%9F%D0%B8%D0%A2%D0%AD%D0%9A%D0%91.zip

3. Зыков Д.Д. Моделирование технологических процессов и приборов в микро- и наноэлектронике: Методические указания по выполнению курсового проекта. – Томск: ТУСУР, 2015. – 15 с.

http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Zikov/%D0%97%D1%8B%D0%BA%D0%BE%D0%B2_%D0%94%D0%94_%D0%9E%D1%81%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%B2_%D0%9A%D0%AE_-_%D0%9F%D0%B8%D0%A2%D0%AD%D0%9A%D0%91.zip

Программное обеспечение

1. Программный пакет Synopsys TCAD или Silvaco TCAD.
2. Офисные программы Microsoft Office или Open Office.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Свободная энциклопедия «Википедия» – http://ru.wikipedia.org/;
2. Образовательный портал в свободном доступе: «Физика, химия, математика студентам и школьникам. Образовательный проект А.Н. Варгина» – http://www.ph4s.ru/;
3. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU – http://elibrary.ru/defaultx.asp;
4. Сайт «О нанотехнологиях #1 в России» – http://www.nanonewsnet.ru/;
5. Сайт «Нанотехнологии. Инновации. Нано в России, в мире» – http://www.rus-nano.ru/index.php;

Согласована на портале № 4211

6. База данных Федерального интернет-портала «Нанотехнологии и наноматериалы» – http://www.portalnano.ru/read/databases;

7. Сайт журнала «Нано- и микросистемная техника» – http://www.microsystems.ru/ links.php.

13. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

1. Мультимедийная лекционная аудитория.
2. Компьютерный класс на 6 компьютеров с выходом в Интернет (минимальный размер оперативной памяти компьютеров: 4 Гб).

14. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины (по усмотрению разработчика программы). Не предусмотрено

Согласована на портале № 4211

Приложение к рабочей программе

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ **П. Е. Троян**

«___» _____ 2016 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Моделирование технологических процессов и приборов в микро- и наноэлектронике

Уровень основной образовательной программы *бакалавриат*

Направление подготовки (специальность) *11.03.03 Конструирование и технология электронных средств*

Профиль *Проектирование и технология ЭВС*

Форма обучения *Очная*

Факультет *безопасности (ФБ)*

Кафедра *Комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем (КИБЭВС)*

Курс *4* **Семестр** *7, 8*

Учебный план набора 2013 года и последующих лет.

Зачет *не предусмотрено* **Диф. зачет** *8* **семестр**

Экзамен *7* **семестр**

Томск 2016

Согласована на портале № 4211

1 Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины «Моделирование технологических процессов и приборов в микро- и наноэлектронике» и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи (задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по дисциплине «Моделирование технологических процессов и приборов в микро- и наноэлектронике» используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ПК-1	способность моделировать объекты и процессы, используя стандартные пакеты автоматизированного проектирования и исследования	Должен *знать:* • методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации электронной компонентной базы с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств; Должен *уметь*: • разрабатывать физические и математические модели приборов и устройств электроники и наноэлектроники; • разрабатывать технологические маршруты их изготовления; • применять новейшие технологические и конструкционные материалы. Должен *владеть:* • методами проектирования электронной компонентной базы и технологических процессов электроники и наноэлектроники; • методами математического моделирования технологических процессов с целью их оптимизации.

Согласована на портале № 4211

2 Реализация компетенций

2.1 Компетенция ПК-1

В результате изучения дисциплины «Моделирование технологических процессов и приборов в микро- и наноэлектронике» должна быть сформирована компетенция:

- способность моделировать объекты и процессы, используя стандартные пакеты автоматизированного проектирования и исследования (ПК-1).

Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Этапы формирования компетенции ПК-1 и используемые средства оценивания

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	Должен знать: • методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации электронной компонентной базы с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств;	Должен уметь: • разрабатывать физические и математические модели приборов и устройств электроники и наноэлектроники; • разрабатывать технологические маршруты их изготовления; • применять новейшие технологические и конструкционные материалы.	Должен владеть: • методами проектирования электронной компонентной базы и технологических процессов электроники и наноэлектроники; • методами математического моделирования технологических процессов с целью их оптимизации.
Виды занятий	Лекции	Выполнение лабораторных работ; Практические занятия;	Самостоятельная работа студента Курсовой проект
Используемые средства оценивания	Контрольная работа; Экзамен	Оформление и защита лабораторных работ; Дифференциальный зачет Экзамен	Оценивание самостоятельной работы студента; Дифференциальный зачет Экзамен

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 3.

Согласована на портале № 4211

Таблица 3 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	Обладает фактическими и теоретическими знаниями в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем	Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы
Хорошо (базовый уровень)	Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования	Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем
Удовлетворительно (пороговый уровень)	Обладает базовыми общими знаниями изучаемой области	Обладает основными умениями, требуемыми для выполнения простых заданий	Работает при прямом наблюдении и контроле со стороны преподавателя

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	Знает методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации электронной компонентной базы с применением систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств	Способен самостоятельно создавать физические и математические модели приборов микро- и наноэлектроники и разрабатывать технологические маршруты их изготовления с использованием средств приборно-технологического моделирования, применять новейшие технологические и конструкционные материалы	Свободно владеет методами математического моделирования технологических процессов и приборов микро-и и наноэлектроники с целью их оптимизации. Активно применяет их для решения профессиональных задач

Согласована на портале № 4211

Таблица 4 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах (продолжение)

Хорошо (базовый уровень)	Знает методы расчета и проектирования электронной компонентной базы с применением систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств	Способен самостоятельно создавать физические и математические модели базовых технологических процессов и приборов микро- и наноэлектроники	Может использовать методы математического моделирования технологических процессов и приборов микро-и и наноэлектроники в профессиональной деятельности
Удовлетворительно (пороговый уровень)	Дает определения основных методов расчета и проектирования электронной компонентной базы с применением систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств	Умеет работать со справочной литературой. Способен создавать модели базовых технологических процессов и приборов микро- и наноэлектроники под контролем со стороны преподавателя	Способен создавать модели некоторых технологических процессов и приборов микро- и наноэлектроники для решении профессиональных задач

Согласована на портале № 4211

3 Типовые контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, в составе:

- контрольная работа;
- лабораторный практикум;
- самостоятельная работа;
- курсовой проект (работа);
- экзамен.

3.1. Примеры заданий для контрольных работ

3.1.1. Моделирование фотолитографии

На кремниевой подложке толщиной 1 мкм провести моделирование фотолитографии: создание фотошаблона, нанесение фоторезиста, экспонирование, задубливание, проявление со следующими параметрами технологического процесса:

- длина волны излучения: 407 нм;
- тип фотолитографии: контактная с зазором;
- зазор между шаблоном и пластиной: 0,01 мкм;
- фоторезист: AZ1350J, толщина 0,6 мкм;
- доза экспонирования: 50/120/180 мДж/см^2;
- время задубливания: 45 секунд;
- время проявления: 80 секунд.
- размер окна в фотошаблоне: 0.5x0.3 мкм;

Получить распределение интенсивности света на пластине и внутри фоторезиста при экспонировании, а также профиль поперечного сечения элемента после проявления.

3.1.2. Моделирование травления

На GaAs подложку толщиной 1 мкм нанести 2 слоя различных материалов толщиной 0,3 и 0,4 мкм соответственно. Провести осаждение материала *nitride* и сформировать резистивную маску с окном шириной 1 мкм.

На полученной структуре провести моделирование селективного жидкостного изотропного травления со следующими параметрами:

- скорость травления первого слоя (считая от подложки): 1 мкм/мин.;
- скорость травления второго слоя: 1,5 мкм/мин.;
- время травления: 2 мин.

Материалы, из которых состоят подложка и маска, травиться не должны. После всех операций травления удалить резистивную маску. Получить поперечное сечение потравленного элемента.

3.1.3. Разработка технологического маршрута формирования Т-образного затвора

На GaAs подложку толщиной 1 мкм нанести два слоя различных материалов. Затем, используя геометрическое травления, сформировать 2-х слойную резистивную маску и провести осаждение Т-образного затвора транзистора.

Параметры:

- материалы для напыления затвора: Ti/Pt/Au, толщиной 60/30/430 нм соотв;
- высота «ножки» затвора: 200 нм;
- ширина «ножки» затвора: 150 нм;
- ширина «шляпки» затвора: 450 нм.
- время осаждения: 15 мин.

Остальные параметры процесса подобрать таким образом, чтобы внешний вид

Согласована на портале № 4211

сформированного затвора был максимально приближен к элементу на рис. 1.

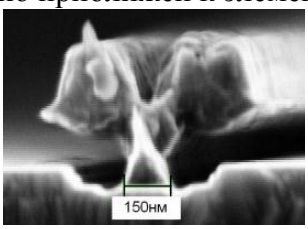

Рисунок 1. – Внешний вид затвора.

3.2. Тематика лабораторных работ

1. Физическое моделирование транзистора Шоттки
2. Физическое моделирование гетероструктурного транзистора AlGaAs/GaAs
3. Приборно-технологическое моделирование полупроводникового резистора на подложке GaAs (Ge, Si)
4. Приборно-технологическое моделирование диода Шоттки

3.3.Темы для самостоятельной работы: *структура и состав программных средств для приборно-технологического моделирования, моделирование технологических процессов формирования изделий микро- и наноэлектроники как средство оптимизации производства, применение метода Монте-Карло при моделировании технологических процессов изготовления элементов микроэлектроники.*

3.4. Примерная тематика курсовых проектов (работ)

1. Изучение современных возможностей САПР по проектированию и моделированию приборов и интегральных схем
2. Изучение современных возможностей САПР по изготовлению фотошаблонов
3. Изучение современных возможностей САПР по проектированию и изготовлению печатных плат
4. Моделирование технологического процесса формирования структуры прибора
5. Моделирование механических напряжений внутри прибора
6. Моделирование и анализ трехмерного растекания носителей заряда
7. Моделирование кремниевых приборов и приборов с гетеропереходами (в том числе на основе SiC и GaN)
8. Моделирование приборов на основе материалов A3B5, использующих гетеропереходы (HEMT)
9. Моделирование фотодетекторов, светоизлучающих диодов (LED) и полупроводниковых лазеров
10. Изучение базовых технологий изготовления сверхвысокочастотных полосковых схем, адаптированных к новой электронной компонентной базе сверхвысокочастотного диапазона
11. Освоение технологии новых материалов и покрытий, обеспечивающих повышение надежности компонентов и интегральных схем на их основе
12. Одно- и двухмерное моделирование термического окисления кремния
13. Одно- и двухмерное моделирование диффузии в кремнии при высокой и низкой концентрации примеси
14. Одно- и двухмерное моделирование ионной имплантации
15. Одно- и двухмерное моделирование пучкового отжига имплантированного кремния
16. Одно- и двухмерное моделирование оптической литографии
17. Одно- и двухмерное моделирование литография в глубокой УФ области

3.5. Вопросы к экзамену

1. Что такое приборно-технологическое моделирование?
2. Какие задачи решают системы TCAD?
3. Какая роль отводится TCAD в международной полупроводниковой дорожной карте?
4. Какие основные модули входят в Synopsys TCAD?
5. Какие возможности существуют в Synopsys TCAD для моделирования технологических

Согласована на портале № 4211

процессов?
6. Как называется и что позволяет выполнять программный модуль для моделирования приборов?
7. Что понимают под виртуальным производством?
8. Какие задачи решает TCAD в виртуальном производстве?
9. Какие возможности предоставляет Synopsys TCAD для физического моделирования полупроводниковых светодиодов?
10. Какими способами могут создаваться командные файлы для Sentaurus Process?
11. Какими способами могут создаваться командные файлы для Sentaurus Device?
12. Какие основные команды используются в Sentaurus Process? Перечислите их ключевые параметры.
13. Из каких секций состоит командный файл Sentaurus Device?
14. Для чего предназначен программный модуль Inspect, и какие основные возможности он предоставляет пользователю?
15. Какую роль играет Sentaurus Workbench?
16. Что такое маршрут модулей в Sentaurus Workbench?
17. Каким образом посредством Sentaurus Workbench выполняются эксперименты?
18. Чем различаются с точки зрения моделирования технологические процессы травления и осаждения?
19. Перечислите основные параметры технологического процесса, необходимые для моделирования окисления и эпитаксии.
20. Назовите основные отличия геометрического и физического травления.
21. Запишите основные уравнения для моделирования процесса диффузии.

Для обеспечения процесса обучения, выполнения лабораторного практикума и курсового проекта (работы) используются следующие материалы:

1. Зыков Д.Д., Осипов К.Ю. Проектирование и технология электронной компонентной базы. Основы САПР Synopsys TCAD: Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2012. – 76 с.
2. Зыков Д.Д. Проектирование и технология электронной компонентной базы: Лабораторный практикум. – Томск: ТУСУР, 2012. – 13 с.
3. Зыков Д.Д. Проектирование и технология электронной компонентной базы: Методические указания по практическим занятиям и самостоятельной работе. – Томск: ТУСУР, 2012. – 50 с.
4. Зыков Д.Д. Моделирование технологических процессов и приборов в микро- и наноэлектронике: Методические указания по выполнению курсового проекта. – Томск: ТУСУР, 2015. – 15 с.

http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Zikov/%D0%97%D1%8B%D0%BA%D0%BE%D0%B2_%D0%94%D0%94_%D0%9E%D1%81%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%B2_%D0%9A%D0%AE_-_%D0%9F%D0%B8%D0%A2%D0%AD%D0%9A%D0%91.zip

Согласована на портале № 4211