

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



УТВЕРЖДАЮ  
Директор департамента образования

Документ подписан электронной подписью

Сертификат: 1сбсfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820

Владелец: Троян Павел Ефимович

Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Приборно-технологическое моделирование**

Уровень образования: **высшее образование - магистратура**

Направление подготовки / специальность: **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**

Направленность (профиль) / специализация: **Твердотельная электроника**

Форма обучения: **очная**

Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**

Кафедра: **ФЭ, Кафедра физической электроники**

Курс: **1**

Семестр: **2**

Учебный план набора 2018 года

**Распределение рабочего времени**

№	Виды учебной деятельности	2 семестр	Всего	Единицы
1	Лекции	18	18	часов
2	Лабораторные работы	18	18	часов
3	Всего аудиторных занятий	36	36	часов
4	Из них в интерактивной форме	12	12	часов
5	Самостоятельная работа	36	36	часов
6	Всего (без экзамена)	72	72	часов
7	Подготовка и сдача экзамена	36	36	часов
8	Общая трудоемкость	108	108	часов
		3.0	3.0	З.Е.

Экзамен: 2 семестр

Томск 2018

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника, утвержденного 30.10.2014 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ФЭ «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_.

Разработчик:

Доцент каф. ФЭ \_\_\_\_\_ Ю. В. Сахаров

Заведующий обеспечивающей каф.  
ФЭ

\_\_\_\_\_ П. Е. Троян

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

Декан ФЭТ \_\_\_\_\_ А. И. Воронин

Заведующий выпускающей каф.  
ФЭ

\_\_\_\_\_ П. Е. Троян

Эксперты:

Профессор кафедры физической  
электроники (ФЭ)

\_\_\_\_\_ Т. И. Данилина

Доцент кафедры физической элек-  
троники (ФЭ)

\_\_\_\_\_ И. А. Чистоедова

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

Формирование навыков применения компьютерных вычислительных технологий в процессе оптимизации параметров отдельных технологических операций и проектирования полупроводниковых приборов

### 1.2. Задачи дисциплины

– Приобретение практических навыков по разработке и оптимизации математических моделей отдельных технологических операций и приборов микро-и наноэлектроники, а также их реализации средствами программирования.

–

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Приборно-технологическое моделирование» (Б1.В.ДВ.4.1) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники, Гетероструктурные полупроводниковые приборы, Интегральная оптоэлектроника, Компьютерные технологии в научных исследованиях, Методы математического моделирования, Технология кремниевой наноэлектроники.

Последующими дисциплинами являются: Моделирование и проектирование гетероструктурных СВЧ МИС, Проектирование и технология электронной компонентной базы.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-2 способностью разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач с использованием современных языков программирования и обеспечивать их программную реализацию;

– ПК-11 способностью проектировать технологические процессы производства материалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства;

– ПСК-2 способностью самостоятельно разрабатывать модели наногетероструктур, активных и пассивных элементов, технологических операций изготовления гетероструктурных МИС СВЧ с использованием технологических систем моделирования и проектирования элементов и технологий полупроводниковых интегральных схем, в том числе МИС СВЧ, изготавливаемых на основе гетероструктур;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

– **знать** Перечень и возможности современных программных комплексов по приборно-технологическому моделированию в области микро- и наноэлектроники. Математические модели, используемые для моделирования отдельных технологических процессов и приборов микро- и наноэлектроники, а также методику их реализации на ЭВМ.

– **уметь** Формировать модели полупроводниковых приборов и проводить расчет их электрофизических параметров. Управлять параметрами моделей технологических процессов с целью достижения соответствия результатам выполнения реального технологического процесса.

– **владеть** Методиками и алгоритмами построения математических моделей полупроводниковых приборов и расчета их электрофизических параметров.

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		2 семестр
Аудиторные занятия (всего)	36	36
Лекции	18	18

Лабораторные работы	18	18
Из них в интерактивной форме	12	12
Самостоятельная работа (всего)	36	36
Оформление отчетов по лабораторным работам	12	12
Подготовка к лабораторным работам	14	14
Проработка лекционного материала	10	10
Всего (без экзамена)	72	72
Подготовка и сдача экзамена	36	36
Общая трудоемкость, ч	108	108
Зачетные Единицы	3.0	3.0

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

Названия разделов дисциплины	Лек., ч	Лаб. раб., ч	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
2 семестр					
1 Введение	2	0	2	4	ПК-11, ПК-2, ПСК-2
2 Технологическое моделирование	8	8	20	36	ПК-11, ПК-2, ПСК-2
3 Приборное моделирование	8	10	14	32	ПК-11, ПК-2, ПСК-2
Итого за семестр	18	18	36	72	
Итого	18	18	36	72	

### 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

Названия разделов	Содержание разделов дисциплины (по лекциям)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
2 семестр			
1 Введение	Предмет дисциплины и ее задачи. Обзор современных программных комплексов для приборно-технологического моделирования в области микро- и наноэлектроники и их возможностей.	2	ПК-11, ПК-2, ПСК-2
	Итого	2	
2 Технологическое	Моделирование процесса неконформного осажде-	8	ПК-11,

моделирование	ния диэлектрика. Моделирование процесса осаждения металла через двух- и трехслойную резистивные маски.		ПК-2, ПСК-2
	Итого	8	
3 Приборное моделирование	Моделирование и расчет диодов Шоттки. Моделирование и расчет интегральных биполярных транзисторов. Моделирование и расчет вольт-емкостных характеристик р-n-перехода. Моделирование и расчет распределения электрического поля в полупроводниковых структурах. Моделирование и расчет характеристик транзистора с высокой подвижностью (HEMT). Моделирование и расчет характеристик гетеропереходных биполярных транзисторов (HBT).	8	ПК-11, ПК-2, ПСК-2
	Итого	8	
Итого за семестр		18	

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

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

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

Наименование дисциплин	№ разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин		
	1	2	3
Предшествующие дисциплины			
1 Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники	+	+	+
2 Гетероструктурные полупроводниковые приборы	+	+	+
3 Интегральная оптоэлектроника	+	+	+
4 Компьютерные технологии в научных исследованиях	+	+	+
5 Методы математического моделирования	+	+	+
6 Технология кремниевой наноэлектроники	+	+	+
Последующие дисциплины			
1 Моделирование и проектирование гетероструктурных СВЧ МИС	+	+	+
2 Проектирование и технология электронной компонентной базы	+	+	+

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

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

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

	Виды занятий	Формы контроля
--	--------------	----------------

Компетенции	Лек.	Лаб. раб.	Сам. раб.	
ПК-2	+	+	+	Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Тест
ПК-11	+	+	+	Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Тест
ПСК-2	+	+	+	Экзамен, Отчет по лабораторной работе, Тест

### 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Технологии интерактивного обучения при разных формах занятий

Методы	Интерактивные лабораторные занятия, ч	Интерактивные лекции, ч	Всего, ч
2 семестр			
Презентации с использованием слайдов с обсуждением		4	4
Мини-лекция		2	2
Исследовательский метод	2		2
Работа в команде	2		2
IT-методы	2		2
Итого за семестр:	6	6	12
Итого	6	6	12

### 7. Лабораторные работы

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
2 семестр			
2 Технологическое моделирование	Моделирование селективных процессов изотропного и анизотропного травления многослойных структур.	4	ПК-11, ПК-2, ПСК-2
	Моделирование процесса ионной имплантации атомов примеси в кремниевую подложку	4	
	Итого	8	
3 Приборное моделирование	Моделирование и расчет полупроводникового резистора	4	ПК-11, ПК-2, ПСК-2
	Моделирование и расчет диода Шоттки	2	
	Моделирование и расчет транзисторов с высокой	4	

	подвижностью электронов (HEMT)		
	Итого	10	
Итого за семестр		18	

### 8. Практические занятия (семинары)

Не предусмотрено РУП.

### 9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
2 семестр				
1 Введение	Проработка лекционного материала	2	ПК-11, ПК-2, ПСК-2	Тест, Экзамен
	Итого	2		
2 Технологическое моделирование	Проработка лекционного материала	4	ПК-11, ПК-2, ПСК-2	Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен
	Подготовка к лабораторным работам	8		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	8		
	Итого	20		
3 Приборное моделирование	Проработка лекционного материала	4	ПК-11, ПК-2, ПСК-2	Отчет по лабораторной работе, Тест, Экзамен
	Подготовка к лабораторным работам	6		
	Оформление отчетов по лабораторным работам	4		
	Итого	14		
Итого за семестр		36		
	Подготовка и сдача экзамена	36		Экзамен
Итого		72		

### 10. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено РУП.

### 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

#### 11.1. Балльные оценки для элементов контроля

Таблица 11.1 – Балльные оценки для элементов контроля

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	Всего за семестр

			конец семестра	
2 семестр				
Отчет по лабораторной работе		20	30	50
Тест		10	10	20
Итого максимум за период		30	40	70
Экзамен				30
Нарастающим итогом	0	30	70	100

### 11.2. Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Пересчет баллов в оценки за контрольные точки представлен в таблице 11.2.

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

### 11.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 11.3.

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)

## 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 12.1. Основная литература

1. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем [Текст] : учебное пособие для вузов: в 2 ч. / ред. Ю. А. Чаплыгин. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - (Электроника). - ISBN 978-5-94774-538-2 (наличие в библиотеке ТУСУР - 35 экз.)
2. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы : Учебное пособие для вузов / А. А. Барыбин. - М. : Физматлит, 2006. - 423[1] с (наличие в библиотеке ТУСУР - 130 экз.)
3. Лекции по уравнениям математической физики [Электронный ресурс] : учебное пособие / М. М. Карчевский ; рец.: О. А. Задворнов, И. Н. Сидоров ; худож. Е. А. Власова. - 2-е изд., испр. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : Лань, 2016 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/72982/#1> (дата обращения: 26.06.2018).



4. Моделирование и визуализация средствами MATLAB физики наноструктур : учебное пособие для вузов / И. В. Матюшкин. - М. : Техносфера, 2011. - 168 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 15 экз.)

## 12.2. Дополнительная литература

1. Процессы микро- и нанотехнологии : учебное пособие для вузов / Т. И. Данилина [и др.] ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (Томск). - Томск : ТУСУР, 2005. - 316 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 103 экз.)

2. Технология кремниевой наноэлектроники: учебное пособие / Т. И. Данилина, В. А. Кагадей, Е. В. Анищенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - 2-е изд. - Томск : ТУСУР, 2015. - 319 с (наличие в библиотеке ТУСУР - 30 экз.)

3. Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М. А. Королев, Т. Ю. Крупкина, М. А. Ревелева. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 397 с. : ил. - ). - Библиогр.: с. 397. - ISBN 978-5-94774-336-4 (наличие в библиотеке ТУСУР - 10 экз.)

4. Математическое моделирование физико-химических процессов в среде COMSOL Multiphysics 5.2: учебное пособие / А. В. Коваленко [и др.] ; ред. Т. С. Спирина - СПб. : Лань, 2017. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/reader/book/93695/#1> (дата обращения: 26.06.2018).

5. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий [Текст] : учебное пособие для вузов: в 2 т. / ред. Ю. Н. Коркишко. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010 - . - (Нанотехнологии) - Т. 1 : Физико-химические основы технологии микроэлектроники / Ю. Д. Чистяков, Ю. П. Райнова. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 392 с (наличие в библиотеке ТУСУР - 45 экз.)

6. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий [Текст] : учебное пособие для вузов: в 2 т. / ред. Ю. Н. Коркишко. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010 - 2011. - (Нанотехнологии). - Т. 2 : Технологические аспекты / М. В. Акуленок, В. М. Андреев, Д. Г. Громов. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. - 252 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 45 экз.)

## 12.3. Учебно-методические пособия

### 12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Проектирование и технология электронной компонентной базы: Учебно-методическое пособие по аудиторным практическим занятиям и самостоятельной работе для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 210100 «Электроника и наноэлектроника» / Зыков Д. Д. - 2012. 49 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/4733> (дата обращения: 26.06.2018).

2. Осипов К.Ю., Троян П.Е. Приборно-технологическое моделирование: Методические указания по выполнению лабораторных работ и самостоятельной работы. - Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012 - 24 с [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii\\_kompleks%20disciplin/Troyan/PTM\\_lab.pdf](http://miel.tusur.ru/images/files/Uchebno-metodicheskii_kompleks%20disciplin/Troyan/PTM_lab.pdf) (дата обращения: 26.06.2018).

### 12.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

#### Для лиц с нарушениями зрения:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

#### Для лиц с нарушениями слуха:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

#### Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

#### **12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. <https://elibrary.ru> - научная электронная библиотека
2. <https://edu.tusur.ru> - научно - образовательный портал ТУСУРа
3. <https://materials.springer.com> - это самая полная база данных, описывающая свойства и характеристики материалов. Она аккумулирует информацию из таких дисциплин, как материаловедение, физика, физическая и неорганическая химия, машиностроение и др

### **13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение**

#### **13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины**

##### **13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий**

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

##### **13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ**

Учебная аудитория

учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 124 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Компьютер персональный (13 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- Microsoft Windows 7
- PascalABC
- Виртуальная лабораторная работа «Исследование межэлементной щелевой изоляции в кремниевой наноэлектронике»
- Виртуальная лабораторная работа «Исследование процессов травления микро- и наноструктур»
- Виртуальная лабораторная работа «Исследование процессов формирования Т-образного затвора р-НЕМТ транзистора»

##### **13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы**

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Состав оборудования:

- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:

- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

### **13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

## **14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

### **14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации**

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

#### **14.1.1. Тестовые задания**

1. При численном расчете характеристик полупроводниковых приборов и результатов выполнения технологических процессов используется представление физической структуры объекта в виде:

- а) сетки микросфер.
- б) конечно-элементной сетки.
- в) двумерной треугольной сетки.
- г) элементарной сетки.

2. Основной целью моделирования полупроводниковых приборов и технологических процессов их изготовления является:

- а) повышение мощности проектируемых устройств.
- б) визуализация данных статистического контроля технологических процессов.
- в) улучшение имиджа производителя на фоне конкурентов.
- г) снижение затрат на выполнение разработок.

3. Системы приборно-технологического моделирования обычно не используются для:

- а) моделирования физической структуры и расчета электрических характеристик полупроводниковых приборов.
- б) синтеза топологии интегральных микросхем.
- в) моделирования результатов выполнения последовательности технологических операций.
- г) прогнозирования выхода годных приборов.

4. Соотношение скоростей травления различных материалов в идентичных условиях называется:

- а) изотропностью травления.
- б) селективностью травления.
- в) анизотропностью травления.
- г) аморфностью травления.

5. Какая математическая функция используется при моделировании процессов травления и осаждения при падении травящего пучка на подложку под произвольным углом?

- а) косинус.
- б) тангенс.
- в) логарифм.
- г) арксинус.

6. Процесс травления, при котором скорости удаления материала в различных направлениях не одинаковы, называется:

- а) изотропным.
- б) селективным.
- в) анизотропным.
- г) аморфным.

7. Теория Линдхарда-Шарфа-Шиотта используется при моделировании процесса:

- а) напыления металла.
- б) жидкостного химического травления.
- в) быстрого термического отжига.
- г) ионной имплантации.

8. При моделировании полупроводниковых приборов не используются следующие математические модели:

- а) правила Кирхгофа.
- б) уравнение непрерывности.
- в) закон Снеллиуса.
- г) уравнение Пуассона.

9. В основе моделирования полупроводниковых приборов лежат математические модели:

- а) процесса переноса частиц вещества.
- б) физических явлений и процессов переноса заряженных частиц.
- в) электрохимического взаимодействия металла и полупроводника.
- г) на базе уравнения Аррениуса.

10. При моделировании полупроводниковых приборов на гетеропереходах не применяется модель:

- а) квантования носителей в канале транзистора.
- б) ионного обмена.
- в) термоионной эмиссии.
- г) нелокального разогрев носителей.

11. В основе численного моделирования полупроводниковых приборов лежит решение:

- а) системы уравнений в частных производных, описывающей статическое и динамическое поведение носителей в полупроводнике под влиянием внешних полей.
- б) системы квадратных уравнений, описывающей статическое и динамическое поведение носителей в полупроводнике под влиянием внешних полей.
- в) системы уравнений в частных производных, описывающей статическое и динамическое

поведение носителей в полупроводнике под влиянием света и температуры.

г) системы квадратных уравнений, описывающей статическое и динамическое поведение носителей в полупроводнике под влиянием света и температуры.

12. Основной причиной насыщения тока в GaAs полевых транзисторах является:

- а) насыщение дрейфовой скорости дырок в сильных электрических полях
- б) насыщение дрейфовой скорости дырок в слабых электрических полях
- в) насыщение дрейфовой скорости электронов в сильных электрических полях
- г) насыщение дрейфовой скорости электронов в слабых электрических полях

13. Выходные ВАХ полевого транзистора описывают зависимость:

- а) тока «затвор-исток» от напряжения «затвор-исток» при заданных напряжениях «сток-исток»
- б) тока «затвор-исток» от напряжения «сток-исток» при заданных напряжениях «затвор-исток»
- в) тока «сток-исток» от напряжения «затвор-исток» при заданных напряжениях «сток-исток»
- г) тока «сток-исток» от напряжения «сток-исток» при заданных напряжениях «затвор-исток»

14. Передаточные ВАХ полевого транзистора описывают зависимость:

- а) тока «затвор-исток» от напряжения «затвор-исток» при заданных напряжениях «сток-исток»
- б) тока «затвор-исток» от напряжения «сток-исток» при заданных напряжениях «затвор-исток»
- в) тока «сток-исток» от напряжения «затвор-исток» при заданных напряжениях «сток-исток»
- г) тока «сток-исток» от напряжения «сток-исток» при заданных напряжениях «затвор-исток»

15. Псевдоморфным называется полевой транзистор с высокой подвижностью электронов, в котором:

- а) гетеропереход образован полупроводниками с одинаковыми постоянными кристаллической решетки.
- б) гетеропереход является изотипным.
- в) гетеропереход образован полупроводниками с существенно различными постоянными кристаллической решетки.
- г) гетеропереход является аморфным.

16. Преимущества транзистора с высокой подвижностью электронов (НЕМТ) по сравнению с обыкновенным полевым транзистором основаны на свойствах:

- а) квантовых точек.
- б) двумерного электронного газа.
- в) трехмерного электронного газа.
- г) эффекта саморазогрева канала.

17. Типичные значения подвижности электронов в канале псевдоморфного транзистора с высокой подвижностью электронов (при комнатной температуре), см<sup>2</sup>/(В•с):

- а) 40...60.
- б) 400...600.
- в) 4000...6000.
- г) 40000...60000.

18. Основной причиной использования метода обратной литографии при формировании за-

творов СВЧ транзисторов на основе соединений АШВV является:

- а) высокая химическая активность полупроводникового материала.
- б) простота по сравнению с методом прямой литографии.
- в) перегрев подложки при напылении металла без предварительно нанесенной резистивной маски.
- г) возможность получения меньших длин затворов по сравнению с методом прямой литографии.

19. Т-образный профиль затвора Шоттки сверхвысокочастотного полевого транзистора по сравнению с трапециевидным профилем позволяет:

- а) повысить надежность транзистора.
- б) снизить крутизну передаточной вольтамперной характеристики.
- в) повысить рабочую частоту транзистора.
- г) снизить разогрев канала.

20. Типовая гетероструктура GaAs pHEMT включает слои:

- а) AlGaAs и InGaAs.
- б) AlGaN и InGaN.
- в) GaN и InAlGaN.
- г) AlGaAs и SiC.

#### 14.1.2. Экзаменационные вопросы

1. Использование метода Монте-Карло в технологическом моделировании. 2. Математические модели травления. 3. Математические модели осаждения. 4. Математические модели имплантации и диффузии. 5. Основные математические модели, используемые при расчете транзисторов с высокой подвижностью электронов. 6. Виды полевых транзисторов и особенности создания модели и расчета транзистора с высокой подвижностью электронов. 7. Особенности моделирования гетероструктурных электронных приборов. 8. Основные программные комплексы для приборно-технологического моделирования в области микро- и наноэлектроники. 9. Математические модели, используемые для описания явлений переноса заряженных частиц в полупроводнике. Области применения. 10. Математические модели, используемые для описания контакта Шоттки. 11. Подвижность носителей в полупроводниках. Основные математические модели. 12. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Основные зависимости. Математические модели. 13. Туннелирование. Математические модели и области применения.

#### 14.1.3. Темы лабораторных работ

Моделирование селективных процессов изотропного и анизотропного травления многослойных структур.

Моделирование процесса ионной имплантации атомов примеси в кремниевую подложку

Моделирование и расчет полупроводникового резистора

Моделирование и расчет диода Шоттки

Моделирование и расчет транзисторов с высокой подвижностью электронов (HEMT)

#### 14.1.4. Методические рекомендации

Конспектирование студентами лекционного материала обязательно. Обязательным условием допуска к экзамену является выполнение и защита всех лабораторных работ, а также контрольных работ.

#### 14.2. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения
-----------------------	--	--

С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)
С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки

### **14.3. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

- в печатной форме;
- в печатной форме с увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- методом чтения ассистентом задания вслух;
- предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

- письменно на бумаге;
- набор ответов на компьютере;
- набор ответов с использованием услуг ассистента;
- представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.