

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

А.В. Толстиков

24 сентября 2022 г.

**ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА МИКРО-  
И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ, КВАНТОВЫХ УСТРОЙСТВ**

Рабочая программа

для обучающихся по научной специальности 2.2.2. Электронная компонентная база  
микро- и наноэлектроники, квантовых устройств  
форма обучения (очная)

Писарев А.Д. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств. Рабочая программа для обучающихся по научной специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств, формы обучения (очная). Тюмень, 2022.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ФГТ (приказ Минобрнауки России № 951 от 20 октября 2021 года).

Рабочая программа дисциплины опубликована на сайте ТюмГУ: Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

### 1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель дисциплины – является теоретическая и практическая подготовка специалистов в области создания и совершенствования электронных компонент, интегральных схем и устройств микро- и нанoeлектроники, применяемых в составе современных радиоэлектронных цифровых и аналоговых приборов; формирование у обучающихся представлений о физике твердого тела, знаний о видах и назначении электронной компонентной базы современных и перспективных изделий микро- и нанoeлектроники, понимания назначения, принципов работы, математических моделей полупроводниковых приборов различных типов и других электронных компонентов; формирование у обучающихся знаний о принципах, методах и средствах проектирования электронной компонентной базы (ЭКБ) современных и перспективных изделий микро- и нанoeлектроники.

#### Задачи учебной дисциплины:

- углубленное изучение физики полупроводников и электронных компонентов;
- освоение микросхемотехники;
- практическое освоение интегральных технологий;
- изучение средств контроля качества и надежности электронных приборов;
- ознакомление с обзорно-обобщающим материалом по новым достижениям в области перспективных изделий оптоэлектроники, акустоэлектроники, нанoeлектроники и приборов на квантовых эффектах.

### 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины

ПК-1: знание физических основ создания и совершенствования существующих электронных компонент, интегральных схем и устройств микро- и нанoeлектроники.

### 3. Структура и объем дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего часов	Часов в семестре
			5 семестр
<b>Общая трудоемкость</b>	зач. ед.	4	4
	час	144	144
Из них:			
<b>Часы аудиторной работы (всего):</b>		32	32
Лекции		16	16
Практические занятия		16	16
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		0	0
<b>Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося</b>		76	76
Вид промежуточной аттестации (зачет, диф. зачет, кандидатский экзамен)		36	Кандидатский экзамен 36

### 4. Система оценивания

Форма промежуточной аттестации – кандидатский экзамен.

Необходимым условием допуска к экзамену является сдача контрольной работы. Аспиранты сдают экзамен в устной форме по вопросам из пункта 7.1. Вопросы на экзамене задаёт принимающий его преподаватель. Экзамен проходит в устной форме, аспиранту дается 45 минут на подготовку к вопросу.

**Критерии оценки результатов кандидатского экзамена:**



Оценка «отлично» ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное и правильное использование в ответах терминологии;
- безошибочное владение категориальным аппаратом науки;
- умение обозначить основные проблемы сформулированных в билетах вопросов;
- безошибочное знание фактического материала;
- историографические знания в рамках вопросов билета;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка «хорошо» ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное использование в ответах терминологии;
- проблемное изложение сформулированных в билетах вопросов;
- отдельные ошибки при изложении фактического материала;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка «удовлетворительно» ставится за:

- недостаточное использование в ответах терминологии;
- недостаточное владение категориальным аппаратом науки;
- умение обозначить только одну из проблем, сформулированных в билетах вопросов;

- ошибки при изложении фактического материала;

- нарушение логичности и связности ответа.

Оценка «неудовлетворительно» ставится за:

- отсутствие в ответах необходимой терминологии;
- описательное изложение сформулированных в билетах вопросов, неумение обозначить и изложить проблемы;

- грубые ошибки при изложении фактического материала;

- неумение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;

- нарушение логичности, связности ответа.

Контрольная работа оценивается по следующей шкале:

2 («неудовлетворительно») - задание не выполнено; при выполнении задания допущены существенные ошибки; отсутствие общей идеи, системы, частичное выполнение задания.

3 («удовлетворительно») - выполнение задания с несущественными 1-2 ошибками.

4 («хорошо») - выполнение без ошибок в соответствии с заданием.

5 («отлично») - выполнение без ошибок, творческий подход, содержание шире задания.

Условия оценивания устных ответов:

Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, который дает полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, раскрывает все положения темы; показывает умение выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи; в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений; ответ излагается литературным и технически грамотным языком в научных терминах. Контрольная работа сдана преподавателю.

Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, который дает неполный, но частично развернутый ответ на поставленный вопрос; раскрывает лишь основные положения темы; показывает в некоторой степени умение выделить существенные и несущественные признаки, в отдельных случаях нарушаются причинно-следственные связи; в ответе в основном прослеживается четкая структура, незначительно нарушается логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений; ответ излагается литературным и в большей степени технически грамотным



языком, в речи допускается незначительное отклонение от научной терминологии; дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя приводят к полной коррекции ответа обучаемого. Контрольная работа сдана преподавателю.

Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, который дает неполный и неразвернутый ответ на поставленный вопрос; раскрывает частично положения темы; показывает не полное умение выделить существенные и несущественные признаки, иногда нарушаются причинно-следственные связи; в ответе прослеживается не совсем четкая структура с допустимыми пробелами, несколько нарушается логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений; ответ излагается простым технически грамотным языком, в речи применяется научная терминология; дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя приводят к частичной коррекции ответа обучаемого или обучаемый даёт полные ответы на другие вопросы дисциплины. Контрольная работа сдана преподавателю.

Оценка «не удовлетворительно» выставляется обучающемуся, который дает неполный ответ, представляющий собой разрозненные знания по теме вопроса с существенными ошибками в определениях; в ответе присутствует фрагментарность, нелогичность изложения; обучающийся не осознает связь данного понятия, теории, явления с другими объектами дисциплины; отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения; речь неграмотная; дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа обучаемого не только на поставленный вопрос, но и на другие вопросы дисциплины, либо обучающийся отказывается от ответа. Также, оценка «не удовлетворительно» выставляется обучающемуся не сдавшему контрольную работу или сдавшему контрольную работу, но не ответившему на вопрос в соответствии с указанными критериями.

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины, час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактной работы
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные/практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
	Часов в 4 семестре	68	16	16	0	36
	Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств	68	16	16	0	36
1	Введение. Обзор современной элементной базы твердотельной микро- и наноэлектроники	4	2	2	0	0
2	Физика полупроводников	4	2	2	0	0

3	Специфические физические явления и квантовые эффекты в малоразмерных твердотельных структурах	4	2	2	0	0
4	Компоненты и приборы твердотельной микро- и наноэлектроники	4	2	2	0	0
5	Моделирование физических явлений и эффектов в элементах микро- и наноэлектроники	4	2	2	0	0
6	Основы проектирования цифровых СБИС и систем на кристалле	4	2	2	0	0
7	Разработка топологии и конструкции интегральных микросхем	4	2	2	0	0
8	Испытания и надежность изделий твердотельной электроники	4	2	2	0	0
9	Консультация перед кандидатским экзаменом	2	0	0	0	2
10	Кандидатский экзамен	34	0	0	0	34
	<b>Итого часов</b>	<b>68</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>36</b>

## 5.2. Содержание дисциплины по темам

### Планы лекционных занятий

#### Тема 1. Введение. Обзор современной элементной базы твердотельной микро- и наноэлектроники.

Полупроводниковые интегральные схемы. Транзисторы, диоды и другие элементы в интегральном исполнении. Фундаментальные принципы интеграции элементов на пластине. Поэлементная изоляция. Классификация микросхем ИС, БИС, СБИС по конструктивно-технологическому принципу: МОП- и КМОП-ИС, биполярные (ТТЛ-, ЭСЛ-



, И2Л- ИС): Би-КМОП; «кремний-на-изоляторе» («кремний-на-сапфире»)-ИС, GaAs-ИС на полевых транзисторах с барьером Шоттки (ПТШ). Многослойные (объемные) ИС.

### **Тема 2. Физика полупроводников.**

Зонная теория твердого тела. Собственные и примесные полупроводники. Основы статистической физики, функция распределения концентрации электронов и дырок в зонах. Вырожденные и невырожденные полупроводники. Теория рекомбинации Шокли-Рида. Контактные явления в микроэлектронных структурах. Классификация контактов в микроэлектронных структурах. Эффект поля. Энергетическая структура контактных пар: металл – полупроводник, симметричный и асимметричный р–п-переходы, МОП-структуры. Диффузионная и дрейфовая составляющие тока в р–п-переходах. Омические контакты. Электронно-дырочный (р-п) переход. Барьерная и диффузионная емкость. Пробой р-п перехода: тепловой, лавинный, туннельный.

### **Тема 3. Компоненты и приборы твердотельной микро- и наноэлектроники.**

Активные и пассивные элементы интегральных схем. Отличительные особенности элементной базы микроэлектроники. Биполярные транзисторы планарного типа. Униполярные транзисторы планарного типа. Планарно-диффузионные и планарно-эпитаксиальные транзисторы. Составные транзисторы. Интегральные диоды на базе транзисторов планарного типа. Интегральные конденсаторы и интегральные сопротивления. Активные и пассивные паразитные элементы интегральных схем. Эквивалентные схемы элементов интегральных схем. Аналоговые и цифровые интегральные схемы. Базовые логические схемы.

### **Тема 4. Специфические физические явления и квантовые эффекты в малоразмерных твердотельных структурах.**

Одноэлектроника. Квантование кулоновской энергии в мезоскопических системах. Явление кулоновской блокады при туннелировании через переходы с малой емкостью. Одноэлектронные транзисторы и схемы на их основе. Квантовый эффект Холла. Энергетический спектр носителей заряда в магнитном поле. Квантование холловского сопротивления двумерного электронного газа в магнитном поле. Дробный квантовый эффект Холла. Размерное квантование в гетероструктурах. Примеры структур с размерно-квантованным энергетическим спектром: квантовые ямы, квантовые нити и квантовые точки. Сверхрешетки. Туннелирование на одиночном барьере. Двухбарьерная структура. Резонансно-туннельные диод и транзистор. Эффект Джозефсона. Представления об элементной базе квантовых компьютеров – кубитах. Свойства кубита. Управление эволюцией кубита. Элементарные одно-кубитовые и двух-кубитовые операции как основа квантовых вычислений. Представление о принципах квантовой связи на одиночных фотонах.

### **Тема 5. Моделирование физических явлений и эффектов в элементах микро- и наноэлектроники**

Моделирование как основа проектирования приборов твердотельной, микро- и наноэлектроники. Особенности работы структур микроэлектронных компонентов. Расчеты характеристик структур микроэлектронных компонентов - Автоматизированное проектирование и моделирование структур электронных компонентов с помощью пакетов приборно-технологического проектирования. Методики построения физических и математических моделей. Двух- и трехмерное моделирование. Примеры моделей транзисторов, элементов микросхем. Системы моделирования и автоматизированного проектирования. Транзисторный эффект. Зонная диаграмма полупроводниковой структуры с двумя близко расположенными р-п переходами. Коэффициент инжекции. Коэффициент переноса носителей через базу. Коэффициент усиления транзистора. Термоэлектрические явления. Транспортные явления в малоразмерных полупроводниковых структурах. Полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов (НЕМТ). Гетеропереходный биполярный транзистор.

### **Тема 6. Основы проектирования цифровых СБИС и систем на кристалле**



Общие сведения о проектировании цифровых СБИС, средства автоматизации проектирования. Основные стратегии проектирования цифровых СБИС. Современная методология автоматизированного проектирования электронной компонентной базы. Маршрут проектирования «сверху-вниз» и «снизу-вверх». Уровни абстракции при проектировании цифровых СБИС. Поведенческое описание работы устройства. Физическое, логическое, схемотехническое и системное проектирование. Нормативная документация, создаваемая в процессе проектирования ЭКБ. Математические модели, используемые для описания различных уровней абстракции цифровой СБИС. Цифровой вентиль, инвертор. Логические схемы на КМОП-транзисторах. Комбинационные и последовательные схемы. Упрощенный маршрут проектирования современных цифровых СБИС. Меры качества разработки цифровых СБИС. Параметры, оптимизируемые при проектировании СБИС. Источники шума в СБИС, влияние шума на цифровые СБИС. Программируемые матрицы логических элементов (ПЛИС). Системы на кристалле.

#### **Тема 7. Разработка топологии и конструкции интегральных микросхем**

Системы автоматизированного проектирования топологии интегральных схем. Планарная технология – общая схема техпроцесса. Разработка процессов фотолитографии при производстве наноразмерных полупроводниковых приборов и интегральных схем. Фотошаблоны для проекционной фотолитографии и их изготовление. Гибридная технология. Микросборки и БИС на подложках. Модулированное легирование. Минимальный топологический размер (МТР) – основной показатель уровня технологии. Степень интеграции ИС. Динамика МТР и степени интеграции. Физические ограничения миниатюризации. Структуры элементов полупроводниковых ИС. Методы изоляции элементов. Технология структур «кремний на изоляторе». Структура и свойства элементов ИС. Дефекты микросхем, связанные с фотолитографическими процессами. Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Корпуса полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Методы герметизации. Бескорпусные приборы. Методы отвода тепла в мощных полупроводниковых приборах.

#### **Тема 8. Испытания и надежность изделий твердотельной электроники**

Основные положения, понятия и определения современной теории надежности. Статистические методы оценки и прогнозирования показателей надежности и долговечности. Физика причин отказов полупроводниковых приборов и микросхем. Катастрофические (внезапные) и деградиационные (постепенные) отказы. Методы выявления потенциально ненадежных приборов и микросхем. Ускоренные испытания и имитационные методы испытаний. Испытание изделий на устойчивость к воздействию внешних факторов: механических, климатических, радиационных, Виды испытаний: приемосдаточные, периодические, квалификационные.

### **Планы практических занятий**

**Тема 1.** Типовые применения электронных компонентов и интегральных микросхем.

**Тема 2.** Решение задач зонной теории твердого тела.

**Тема 3.** Расчеты схем, содержащих компоненты и приборы, твердотельной микро- и наноэлектроники.

**Тема 4.** Расчеты характеристик структур микроэлектронных компонентов.

**Тема 5.** Изучение маршрута логического синтеза на основе ПЛИС.

**Тема 6.** Моделирование физических явлений и эффектов в интегральных транзисторах.

**Тема 7.** Автоматизированное проектирование интегральных схем различной степени интеграции.

**Тема 8.** Исследование климатической и механической надежности микро- и наноэлектронных изделий.

**Оценочное средство: контрольная работа.**

Проводится по теоретическому материалу. Для подготовки необходимо проработать лекцию и прочитать рекомендуемую литературу по теме.

**Темы контрольной работы**

1. Классификация ИМС по конструкторско-технологическим признакам и степени готовности к реализации пользовательской задачи.
2. Сформулировать основные положения зонной теории твердого тела.
3. Физические явления и процессы в микроэлектронных структурах с позиции микроэлектроники.
4. Роль контактных явлений в микроэлектронных структурах.
5. Физические параметры пленочных структур.
6. Особенности активных и пассивных элементов интегральных схем.
7. Энергопотребление и быстродействие КМОП транзисторных структур.
8. Параметры и характеристики логических элементов, инверторов, вентиляей.
9. Способы описания работы цифровых устройств, уровни описания.
10. Типичный цикл проектирования ИМС.
11. Основы разработки топологии и конструкции ИМС.
12. Прогнозирование надежности изделий твердотельной электроники.

**6. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся**

Таблица 3

№ темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1.	Типовые применения электронных компонентов и интегральных микросхем	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.
2.	Решение задач зонной теории твердого тела	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.
3.	Расчеты схем, содержащих компоненты и приборы, твердотельной микро- и нанoeлектроники	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.
4.	Расчеты характеристик структур микроэлектронных компонентов	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.
5.	Изучение маршрута логического синтеза на основе ПЛИС	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.
6.	Моделирование физических явлений и эффектов в интегральных транзисторах	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.
7.	Автоматизированное проектирование интегральных схем различной степени интеграции	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.
8.	Исследование климатической и механической надежности микро- и нанoeлектронных изделий	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.



**Чтение обязательной и дополнительной литературы**, предусмотренной рабочей программой дисциплины. Контроль – на практических занятиях в устной форме при обсуждении теоретических вопросов.

**Проработка лекций** предполагает присутствие обучаемого на лекционных занятиях и конспектирование материала. Контроль – на практических занятиях в устной форме при обсуждении теоретических вопросов.

## **7. Промежуточная аттестация по дисциплине**

### **7.1 Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине**

Форма проведения промежуточной аттестации – контрольная работа, устная проверка знаний. Проверка знания проводится устно в форме собеседования по прилагаемому ниже примерному перечню вопросов.

#### **Примерный перечень вопросов для проведения собеседований**

1. Структура энергетических зон. Рекомбинация в полупроводниках с прямыми и непрямыми переходами.
2. Биполярная структура с тонкой базой. Граничные условия. Изменение концентрации и плотности тока вдоль базы.
3. Ток коллектора биполярного транзистора.
4. ВАХ МОП транзистора. Омическая (крутая) область и область усиления (пологая). Модуляция длины канала.
5. Стокозатворная характеристика МОП транзистора. Крутизна. Зависимость крутизны от топологии и напряжения на затворе.
6. Вольт-фарадная характеристика МОП транзистора на низких и высоких частотах.
7. Подпороговая область МОП транзистора.
8. Влияние подложки на ВАХ МОП транзистора. Входная характеристика МОП транзистора.
9. Динамические свойства МОП транзистора.
10. Эффекты субмикронной длины и ширины канала МОП транзистора.
11. Пороговое напряжение МОП транзисторов с поликремниевым затвором.
12. Электронезависимые элементы памяти.
13. Физические и конструктивные ограничения линейных размеров элементов микросхем. Закон масштабирования. Фундаментальные ограничения. Функционирование приборов.
14. Способы описания работы цифровых устройств, уровни описания. Типичный цикл проектирования ИМС.

#### **Вопросы для подготовки к кандидатскому экзамену**

1. Определение и отличительные черты современной микро- и наноэлектроники. Краткая история развития микроэлектроники.
2. Полупроводниковые материалы. Связь между характеристиками полупроводниковых материалов и параметрами интегральных схем.
3. Диэлектрики и металлы в микроэлектронике.
4. Статистика носителей зарядов в полупроводниковых материалах микроэлектроники.
5. Модель ковалентной связи в полупроводниках. Зонная энергетическая модель полупроводника, диэлектрика и металла. Математическая модель энергетических зон. (Модель Кронига – Пенни).
6. Статистика Ферми - Дирака. Графическое представление функции. Уровень Ферми.



7. Контактные явления в микрoэлектронных структурах. Классификация контактов. Зонные энергетические модели контактов.
8. Зонная энергетическая структура контакта полупроводников различного типа проводимости. Симметричный p-n переход.
9. Зонная энергетическая структура p-n перехода под внешним электрическим полем. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда.
10. Контакт полупроводника с диэлектриком. Энергетическая диаграмма контакта.
11. Омические контакты в микрoэлектронике.
12. Активные элементы микрoэлектроники. Планарная структура и энергетическая зонная модель биполярного транзистора.
13. Интегральные диоды. Планарная структура и разновидности интегральных диодов
14. Планарная структура и энергетическая зонная модель МОП и МДП структуры.
15. Пассивные элементы интегральных схем: резисторы, конденсаторы и индуктивности.
16. Паразитные элементы в интегральных схемах.
17. Физические основы планарной технологии в микрoэлектронике. Концептуальная диаграмма технологии микрoэлектроники. Базовые технологические процессы.
18. Нанесение и применение тонких пленок в технологии микрoэлектроники.
19. Эпитаксиальное наращивание тонких монокристаллических полупроводниковых пленок.
20. Роль диффузионных процессов и легирования полупроводников в микрoэлектронике.
21. Металлизация интегральных схем, способы реализации.
22. Контроль в микрoэлектронике. Классификация и краткая характеристика возможных способов контроля технологических процессов.
23. Тенденция развития микрoэлектроники. Физические ограничения микроминиатюризации.
24. Функциональная микрoэлектроника как разновидность классической микрoэлектроники. Отличительные черты функциональной микрoэлектроники

## 7.2. Критерии оценивания компетенций:

Таблица 4

### Карта критериев оценивания компетенций

№ п/п	Код и наименование компетенции	Оценочные материалы	Критерии оценивания
1	ПК-1: знание физических основ создания и совершенствования существующих электронных компонент, интегральных схем и устройств микро- и наноэлектроники	контрольная работа, устная проверка знаний	<p><b>Пороговый уровень освоения ОП (удовл.):</b></p> <p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– в некоторой части ключевые приёмы разработки электронных компонент, интегральных схем и устройств микро- и наноэлектроники;</li> <li>– частично физические эффекты в малоразмерных твердотельных структурах и особенности обработки сигналов в интегральных электрических цепях;</li> <li>– фрагментарно этапы технологического цикла создания интегральных схем, некоторые топологические нормы и ограничения.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>– выполнять моделирование работы основных элементов твердотельной электроники;</li> <li>– анализировать работоспособность некоторых электронных узлов и блоков;</li> <li>– проектировать топологию простых интегральных схем.</li> </ul> <p><b>Базовый уровень (хор.):</b></p> <p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ключевые приёмы разработки электронных компонент, интегральных схем и устройств микро- и нанoeлектроники;</li> <li>– основные физические эффекты в малоразмерных твердотельных структурах и особенности обработки сигналов в интегральных электрических цепях;</li> <li>– определяющие этапы технологического цикла создания интегральных схем, некоторые топологические нормы и ограничения;</li> <li>– некоторые методы и программное обеспечение для проектирования топологии интегральных схем различной степени интеграции.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выполнять моделирование работы элементов твердотельной электроники;</li> <li>– анализировать работоспособность электронных узлов и блоков;</li> <li>– проектировать топологию интегральных схем</li> <li>– оценивать влияние корпусов ЭКБ на характеристики компонентов.</li> </ul> <p><b>Повышенный уровень (отл.):</b></p> <p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– все приёмы разработки электронных компонент, интегральных схем и устройств микро- и нанoeлектроники;</li> <li>– в полной мере физические эффекты в малоразмерных твердотельных структурах и особенности обработки сигналов в интегральных электрических цепях;</li> </ul>
--	--	--	--

			<ul style="list-style-type: none"> <li>– весь технологический цикл создания интегральных схем, топологические нормы и ограничения; методы и программное обеспечение для проектирования топологии интегральных схем различной степени интеграции;</li> <li>– существующие методы расчетов динамических характеристик фрагментов схем;</li> </ul> <p>типы и параметры корпусов для ЭКБ.</p> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выполнять моделирование работы элементов твердотельной электроники;</li> <li>– анализировать работоспособность электронных узлов и блоков;</li> <li>– выбирать маршруты проектирования ЭКБ, выбирать программные средства для проектирования;</li> <li>– проектировать топологию и рассчитывать характеристики интегральных схем;</li> <li>– оценивать влияние корпусов ЭКБ на характеристики компонентов;</li> <li>– проводить испытание и оценивать надежность изделий микро- и нанoeлектроники;</li> <li>– оценивать целесообразность применения интегральных схем для разработки микро- и нанoeлектронных устройств.</li> </ul>
--	--	--	---

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 8.1. Основная литература:

1. Попов В.Д. Физические основы проектирования кремниевых цифровых интегральных микросхем в монолитном и гибридном исполнении: учебное пособие / В. Д. Попов, Г. Ф. Белова. Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: ЛАНЬ, 2013. 208с.: ил.; 21 см. (Учебники для вузов. Специальная литература). ISBN 978-5-8114-1375-1 (в пер.).

2. Смирнов В.А. Физические основы микроэлектроники: Учебное пособие. Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 232с. URL: <http://znanium.com/catalog/document?id=385200>. ISBN 978-5-9729-0711-3. (дата обращения: 28.03.2022).

### 8.2. Дополнительная литература:

1. Удовиченко С.Ю. Пучково-плазменные технологии для создания материалов и устройств микро- и нанoeлектроники: учебное пособие // Изд-во ТюмГУ, 2016. - 228 с.; ISBN 978-5-400-01349-2; Электрон. версия печ. публикации . - Режим доступа: [https://library.utmn.ru/dl/PPS/Udovichenko\\_530\\_UP\\_2016pdf](https://library.utmn.ru/dl/PPS/Udovichenko_530_UP_2016pdf) (дата обращения: 28.03.2022).



2. Нанотехнологии в электронике-3.1 : сборник. — Москва : Техносфера, 2016. — 480 с. — ISBN 978-5-94836-423-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/87746> (дата обращения: 28.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Гаврилов С. Методы анализа логических корреляций для САПР цифровых КМОП СБИС [Электронный ресурс] / Гаврилов С. — Москва: Техносфера, 2011. — 136 с. — Книга из коллекции Техносфера - Инженерно-технические науки. URL:[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=73023](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=73023) (дата обращения: 28.03.2022)
4. Плотников Г.С. Микроэлектроника: основы молекулярной электроники: учебное пособие для вузов / Г. С. Плотников, В. Б. Зайцев. — 2-е изд., испр. и доп. — Электрон. дан. — Москва: Юрайт, 2022. — 166 с. — (Высшее образование). — URL: <https://urait.ru/bcode/492445>. — Режим доступа: Электронно-библиотечная система Юрайт, для авториз. пользователей. — (дата обращения: (28.03.2022)
5. Белоус А.И. Материалы и устройства наноэлектроники. Электроника после Мура / А. И. Белоус, В. А. Солодуха. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. — 564 с. — ISBN 978-5-9729-1045-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/282128> (дата обращения: 28.03.2022) — Режим доступа: для авториз. пользователей
6. Петров М.Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем : учебное пособие / М. Н. Петров, Г. В. Гудков. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 464 с. — ISBN 978-5-8114-1075-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/209609> (дата обращения: 28.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Белоус А.И. Основы проектирования субмикронных микросхем [Электронный ресурс] / Белоус А. И., Красников Г. Я., Солодуха В. А. Москва : Техносфера, 2020. 782 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/181223>. ISBN 978-5-94836-603-6.
8. Красников Г.Я. Общая теория технологий и микроэлектроника / Г. Я. Красников, Е. С. Горнев, И. В. Матюшкин. Москва : Техносфера, 2020. 433 с. : ил., табл., цв. ил. ; 24 см. ISBN 978-5-94836-611-1.

### 8.3. Интернет-ресурсы:

1. Научная электронная библиотека [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru). (28.03.2022)
2. Образовательные ресурсы «Единое окно» <http://window.edu.ru/window/library> (28.03.2022)
3. Книго-поиск. <http://www.knigo-poisk.ru> (28.03.2022)

### 8.4. Современные базы данных и информационные справочные системы:

Международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science, Scopus, Astrophysics, PubMed, Mathematics, Chemical Abstracts, Springer, Agris, GeoRef, MathSciNet, BioOne, Compendex, CiteSeerX и т.п.

### 9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Применение мультимедийного оборудования для проведения докладов-презентаций.
- Работа с Интернетом.
- Работа с информационным порталом ИБЦ ТюмГУ.

В случае дистанционной формы обучения рекомендуется использовать Microsoft Teams.

### 10. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Лекционная аудитория с мультимедийным оборудованием.

Специальные лаборатория пучково-плазменных технологий, лаборатория электронной и зондовой микроскопии НОЦ "Нанотехнологии".

**Список оборудования для проведения практических занятий:**

1. Модуль магнетронного распыления НТК «НаноФаб-100».
2. Модуль ионной имплантации НТК «НаноФаб-100».
3. Модуль ионного травления НТК «НаноФаб-100».
4. Модуль плазмохимического травления НТК «НаноФаб-100».

**11. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям лиц с ограниченными возможностями**

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

**12. Методические рекомендации обучающимся по выполнению самостоятельной работы**

Самостоятельная работа включает проработку лекций, выполнение контрольной работы, подготовка к кандидатскому экзамену в форме устного собеседования.

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку аспиранта к текущим аудиторным занятиям и контрольным мероприятиям. Результаты этой подготовки проявляются в активности аспиранта на занятиях и в качестве выполненных контрольных работ.

*При проработке лекций* рекомендуется обратиться к конспектам лекционного материала (кратко, схематично, последовательно зафиксированным основным положениям, выводам, формулировкам, обобщениям), проверить использованные в лекции термины и понятия с помощью словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь.

Следует обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе.

Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии.

*При чтении обязательной и дополнительной литературы* рекомендуется смысловое чтение, аннотирование и конспектирование. При аннотировании рекомендуется отметить те идеи, положения, которые могут быть использованы в собственном диссертационном исследовании. При конспектировании – определить цель, ознакомиться с полным текстом источника, определить его логическую структуру, зафиксировать основное содержание структурных компонентов; также рекомендуется фиксировать собственные вопросы, суждения, умозаключения по содержанию конспектируемого источника.

Кроме обязательной и дополнительной литературы, определенной автором рабочей программы, рекомендуется самостоятельный поиск и проработка дополнительных источников, в том числе аналитического характера (научные статьи, диссертационные исследования);



Также рекомендуется составить перечень основных понятий и терминов (*гlossарий*) и проанализировать их с использованием словарей (толковые, словари иностранных слов, энциклопедические словари, отраслевые словари и др.), в результате чего должны быть отобраны определения, в наибольшей степени отражающие признаки рассматриваемых явлений.

*При подготовке к экзамену в форме устного собеседования* рекомендуется актуализация и анализ содержания материала лекционных и практических занятий; чтение обязательной и дополнительной литературы; самостоятельный поиск информации по отдельным вопросам с использованием различных видов источников.