

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

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
Физикотвердого тела и наноструктур  
(П.В. Середин)  
31.08.2024г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
Б1.В.05 Проектирование систем на кристалле

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: 11.04.04

*Электроника и нанoeлектроника*

2. Профиль подготовки/специализация:

*Интегральная электроника и нанoeлектроника*

3. Квалификация выпускника: *Магистр*

4. Форма образования: *очная*

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

*Физикотвердого тела и наноструктур*

6. Составители программы: *Курганский Сергей Иванович,*

*доктор физ.-мат. наук, профессор*

7. Рекомендована: *НМС физического факультета протокол №6 от 26.06.2024*

8. Учебный год: 2024–2025

Семестр: 1

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

формирование у обучающихся специальных знаний в области физико-технологического проектирования как неотъемлемой и обязательной части всего маршрута проектирования систем на кристалле.

Задачи учебной дисциплины:

- формирование у обучающихся представлений об общих вопросах физико-технологического проектирования, конструктивно-технологические особенности проектирования, исследовании проблем однородности и воспроизводимости электрических параметров систем на кристалле;
- рассмотрение общих характеристик правил проектирования, их заполнения, физико-технологическое моделирование в общем маршруте проектирования систем на кристалле,
- изучение существующих специализированных программных продуктов для проектирования систем на кристалле, методов расчета, проектирования, конструирования и модернизации электронной компонентной базы с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств;
- овладеть навыками разработки проектов для приборно-технологического проектирования изделий электронной промышленности, разработки физических и математических моделей систем на кристалле, разработки технологических маршрутов их изготовления, современными программными средствами (CAD) моделирования
- формирование навыков вычисления электронных и электрофизических характеристик систем на кристалле, навыков работы в программной среде приборно-технологического проектирования.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** часть, формируемая участниками образовательных отношений, блок Б1.

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

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПКВо-1	Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	ПКВо-1.1	Анализирует размещение элементов на кристаллах в изделиях «система в корпусе» и осуществляет оптимизацию конструкции изделий «система в корпусе» с применением современных средств и методов	Знать: методы анализа размещения элементов на кристаллах в изделиях «система в корпусе» и осуществления оптимизации конструкции изделий «система в корпусе» с применением современных средств и методов
				Уметь: анализировать размещение элементов на кристаллах в изделиях «система в корпусе» и осуществлять оптимизацию конструкции изделий «система в корпусе» с применением современных средств и методов
				Владеть: навыками анализа размещения элементов на кристаллах в изделиях

				«система в корпусе» и осуществления оптимизации конструкции изделий «система в корпусе» с применением современных средств и методов
		ПКВо-1.2	Проводит анализ критически важных узлов, тепловыделяющих элементов, источников мощных помех и определяет пути повышения надежности, а также процента выхода годных изделий «система в корпусе»	<p>Знать: методы анализа критически важных узлов, тепловыделяющих элементов, источников мощных помех и определения путей повышения надежности, а также процента выхода годных изделий «система в корпусе»</p> <p>Уметь: проводить анализ критически важных узлов, тепловыделяющих элементов, источников мощных помех и определять пути повышения надежности, а также процента выхода годных изделий «система в корпусе»</p> <p>Владеть: навыками проведения анализа критически важных узлов, тепловыделяющих элементов, источников мощных помех и определения путей повышения надежности, а также процента выхода годных изделий «система в корпусе»</p>
		ПКВо-1.3	Применяет современные методы и средства для оценки и снижения влияния внешних факторов на работу компонентов конструкции изделий «система в корпусе»	<p>Знать: современные методы и средства для оценки и снижения влияния внешних факторов на работу компонентов конструкции изделий «система в корпусе»</p> <p>Уметь: применять современные методы и средства для оценки и снижения влияния внешних факторов на работу компонентов конструкции изделий «система в корпусе»</p> <p>Владеть: навыками применения современных методов и средств для оценки и снижения влияния внешних факторов на работу компонентов конструкции изделий «система в корпусе»</p>
ПКВо-3	Способен анализировать состояние научно-технической проблемы путём подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников	ПКВо-3.1	Составляет описание алгоритма функционирования и циклограммы работы СнК и формулирует предложения по их реализации аппаратными или программными средствами	<p>Знать: способы составления описания алгоритма функционирования и циклограммы работы СнК и формулирования предложений по их реализации аппаратными или программными средствами</p> <p>Уметь: составлять описание алгоритма функционирования и циклограммы работы СнК и формулировать предложения по их реализации аппаратными или программными средствами</p>

				<p>Владеть: навыками составления описания алгоритма функционирования циклограммы работы СнК и формулирования предложений по их реализации аппаратными или программными средствами</p>
		ПКВо-3.2	<p>Разрабатывает технические требования к созданию аналоговых и аналого-цифровых узлов СнК</p>	<p>Знать: методы разработки технических требований к созданию аналоговых и аналого-цифровых узлов СнК</p> <p>Уметь: разрабатывать технические требования к созданию аналоговых и аналого-цифровых узлов СнК</p> <p>Владеть: навыками разработки технических требований к созданию аналоговых и аналого-цифровых узлов СнК</p>
		ПКВо-3.3	<p>Проводит технико-экономический анализ и обосновывать принимаемые решения по выбору архитектуры СнК</p>	<p>Знать: методы проведения технико-экономического анализа и обоснования принимаемых решений по выбору архитектуры СнК</p> <p>Уметь: проводить технико-экономический анализ и обосновывать принимаемые решения по выбору архитектуры СнК</p> <p>Владеть: навыками проведения технико-экономического анализа и обоснования принимаемых решений по выбору архитектуры СнК</p>
ПКВо-4	<p>Способен разрабатывать проектно-конструкторскую документацию в соответствии с методическими и нормативными требованиями</p>	ПКВо-4.2	<p>Разрабатывает функциональные тесты, необходимые для верификации СнК</p>	<p>Знать: методы разработки функциональных тестов, необходимых для верификации СнК</p> <p>Уметь: разрабатывать функциональные тесты, необходимые для верификации СнК</p> <p>Владеть: навыками разработки функциональных тестов, необходимых для верификации СнК</p>
ПКВ-1	<p>Готов осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени</p>	ПКВ-1.1	<p>Определяет необходимое количество встроенных средств контроля и тестовых элементов на кристаллах изделий «систем в корпусе»</p>	<p>Знать: методы определения необходимого количества встроенных средств контроля и тестовых элементов на кристаллах изделий «систем в корпусе»</p> <p>Уметь: определять необходимое количество встроенных средств контроля и тестовых элементов на кристаллах изделий «систем в корпусе»</p> <p>Владеть: навыками определения необходимого количества встроенных средств контроля и тестовых элементов на кристаллах изделий</p>

				«системав корпусе»
ПКВ-2	Способен разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач с использованием современных языков программирования и обеспечивать их программную реализацию	ПКВ-2.3	Разрабатывает тесты и генераторы тестов для моделирования совместной работы программной и аппаратной частей СнК	Знать: методы разработки тестов и генераторов тестов для моделирования совместной работы программной и аппаратной частей СнК Уметь: разрабатывать тесты и генераторы тестов для моделирования совместной работы программной и аппаратной частей СнК Владеть: навыками разработки тестов и генераторов тестов для моделирования совместной работы программной и аппаратной частей СнК

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.—3/108.

### Форма промежуточной аттестации Зачет с оценкой

## 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			1 семестр	№ семестра	...
Аудиторные занятия		28	28		
в том числе:	лекции	14	14		
	практические	14	14		
	лабораторные				
Самостоятельная работа		80	80		
в том числе: курсовая работа (проект)					
Форма промежуточной аттестации - зачет с оценкой					
Итого:		108	108		

### Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины помощью онлайн-курса, ЭУМК*
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Маршруты и этапы проектирования.	Этапы проектирования СнК и возможности их автоматизации. Вопросы эффективности автоматизированного проектирования. Блочный иерархический подход к проектированию сложных систем. Восходящее и нисходящее проектирование. Схема процесса проектирования на конкретном иерархическом уровне.	—
1.2	Автоматизация функционально-логического проектирования СнК	Определение набора блоков, реализуемых в виде аппаратной части, и набора блоков, реализуемых в виде программной части (разбиение СнК на аппаратную и программную части). Методика разработки функционального описания цифровых блоков аппаратной части СнК. Моделирование функционального описания с использованием программ событийного (или) временного	—

		моделирования.Определениестилейописания цифровых блоков и выбор языка описания аппаратуры (Verilog, VHDL, SystemVerilog)	
1.3	Автоматизация топологического проектированияСнК	Описание стандартного технологического маршрута проектирования КМОП. Технологический файл с описанием топологических норм и ограничений проектирования. Основы топологического описания проекта. Проверка топологии на соответствие технологическим и электрическим правилам проекта. Диагностика и исправление ошибок проектирования. Переход к геометрической информации. СБИС типа вентиляционной матрицы. СБИС на стандартных блоках. Ограничения при проектировании топологии. Критерии качества топологии. Задачи разделения и группирования. Алгоритмы разделения/группирования. Задача размещения. Конструктивные и итерационные методы размещения. Задача трассировки. Методы глобальной трассировки. Методы индивидуальной трассировки. Методы канальной трассировки.	—
1.4	Физико-математические модели технологических процессов микро- и наноэлектроники	Модели термического окисления. Модель Дила-Гроува. Линейный и параболический законы роста толщины оксидного слоя. Аномальные эффекты на начальном этапе. Модели диффузионных процессов. Уравнения Фика. Многомерные задачи диффузии. Моделирование диффузионных процессов на этапах загонки и разгонки примесей. Сегрегация примесей. Диффузионное перераспределение примесей в окислительном процессе. Модели процесса ионной имплантации. Основные параметры распределения ионно-имплантированных примесей в зависимости от энергии. Распределения имплантированных примесей. Распределение Гаусса. Сопряженная гауссиана. Распределение Пирсон-4. Локальное легирование. Неортогональная имплантация.	—
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Маршруты и этапы проектирования.	Практическое занятие 1. Разработка схемы процесса проектирования на иерархическом уровне функционального блока	—
2.2	Автоматизация функционально-логического проектированияСнК	Практическое занятие 2. Разделение СнК на аппаратную и программную части Практическое занятие 3. Моделирование поведенческого описания функционального блока Практическое занятие 4. Моделирование структурного описания функционального блока	—
2.3	Автоматизация топологического проектированияСнК	Практическое занятие 5. Разработка рабочей топологии функциональных блоков СнК	—
2.4	Физико-математические модели технологических процессов микро- и наноэлектроники	Практическое занятие 6. Моделирование распределений ионно-имплантированных примесей Практическое занятие 7. Проектирование технологии эпитаксиально-планарного биполярного транзистора	—

### Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Маршруты и этапы проектирования	2	2		10	14
2	Автоматизация	4	6		20	30

	функционально-логического проектирования СнК					
3	Автоматизация топологического проектирования СнК	4	2		20	26
4	Физико-математические модели технологических процессов микро- и нанoeлектроники	4	4		30	38
	Итого:	14	14		80	108

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины «Проектирование систем на кристалле» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Дисциплина «Проектирование систем на кристалле» реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий. В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; практические занятия; индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ-демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

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

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

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

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

При этом хорошо овладеть содержанием лекции - это:

- знать тему;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план;
- уметь выделить основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций;
- связать вновь полученные сведения о предмете и явлениях с уже имеющимися;
- представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.

Существует несколько общих правил работы на лекции:

- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;
- к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;
- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;
- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;
- записывать надосжато;
- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

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

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

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

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

Самостоятельная работа - это планируемая работа обучающихся, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу обучающихся и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность обучающихся должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения



самостоятельной деятельности обучающегося по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

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

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

Результат обучения и самостоятельной работы обучающегося предполагает наличие следующих составляющих:

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

Самостоятельная работа обучающихся при изучении «Проектирования систем на кристалле» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, выполнение практических работ, подготовку к зачету.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Проектирование систем на кристалле» включает в себя:

изучение теоретической части курса	–16 часов
подготовку к практическим занятиям	–16 часов
написание отчетов по практическим работам	–20 часов
подготовку к зачету	–28 часов
итога	–80 часов

## 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№п/п	Источник
1.	Курганский, С.И. Разработка проектов в среде САПР QUARTUS II. Часть 1. Основные этапы проектирования: учебно-методическое пособие / С.И. Курганский, О.И. Дубровский, Е.П. Лихачев, М.Д. Манякин // Воронежский государственный университет. - Воронеж. - 2016. - 34 с. – URL : <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m15-265.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m15-265.pdf</a>
2.	Воронов Ю.А. Моделирование технологии и параметров кремниевых наноразмерных транзисторных структур / Ю.А. Воронов; Касков С.Ю.; Мочалкина О.Р. – Москва: МИФИ, 2012. – 80 с. // Электронно-библиотечная система. – URL : <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=231695">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=231695</a>
3.	Приборно-технологическое проектирование компонентной базы микро- и наноэлектроники: учебно-методическое пособие / сост. : Г.В. Быкадорова, А.Ю. Ткачев, Е.Н. Бормонтов, Л.А. Битюцкая. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2016. – 119 с.
4.	Приборно-технологическое проектирование полевых полупроводниковых приборов : учебно-методическое пособие / сост. А.В. Быстрицкий, Г.В. Быкадорова, К.Г. Пономарев, А.Ю. Ткачев. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2017. – 36 с.
5.	Основы цифровой электроники : учебное пособие для вузов : [для студ. 5-6 к. очной и очно-заоч. форм обучения физ. фак. направления 010800-Радиофизика, специальности 010801-Радиофизика и электроника]. Ч. 2. / А.М. Бобрешов, А.Г. Кошелев; Воронеж. гос. ун-т. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2012. – 38 с. : ил., табл. <URL: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m12-169.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m12-169.pdf</a> >

б) дополнительная литература:

№п/п	Источник
6.	Быкадорова Г.В. Практикум по курсу "Проектирование и технология электронной компонентной базы" [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие для вузов: [для студ. 1 к. очной формы обучения физ. фак.; для направления 210100 - Электроника и наноэлектроника (профили подготовки Микроэлектроника и твердотельная электроника, Наноэлектроника)] / Воронеж. гос. ун-т; сост.: Г.В. Быкадорова, А.Ю. Ткачев. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2014. – 32 с.

7.	Муромцев Д.Ю. Математическое обеспечение САПР: учебное пособие / Д.Ю. Муромцев, И.В. Тюрин. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2014. – 464 с.
8.	Абдулаев Ш.-С.О. Система автоматизированного проектирования приборов микроэлектроники (САПР микроэлектроники) / Ш.-С.О. Абдулаев. – Махачкала: Наука ДНЦ, 2011. – 228 с.
9.	Хоровиц П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл; Пер. сангл. Б.Н. Бронина [идр.] . – Изд. 7-е. – Москва: Мир: БИНОМ, 2011. – 704 с.
10.	Фомин Д.В. Основы компьютерной электроники [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов вузов / Д.В. Фомин. – Электрон. текстовые данные. – Саратов: Вузовское образование, 2017. – 107 с. – 2227-8397. – Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/57257.html">http://www.iprbookshop.ru/57257.html</a>
11.	Суханова Н.В. Основы электроники и цифровой схемотехники [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.В. Суханова. – Электрон. текстовые данные. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2017. – 96 с. – 978-5-00032-226-0. – Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/70815.html">http://www.iprbookshop.ru/70815.html</a>
12.	Иванов В.Н. Применение компьютерных технологий при проектировании электрических схем [Электронный ресурс] / В.Н. Иванов. – Электрон. текстовые данные. – М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2017. – 226 с. – 978-5-91359-229-3. – Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/64930.html">http://www.iprbookshop.ru/64930.html</a>
13.	Новиков Ю.В. Введение в цифровую схемотехнику [Электронный ресурс] / Ю.В. Новиков. – Электрон. текстовые данные. – М. : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016. – 392 с. – 5-94774-600-X. – Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/52187.html">http://www.iprbookshop.ru/52187.html</a>
14.	Микушин А.В. Цифровая схемотехника [Электронный ресурс] : монография / А.В. Микушин, В.И. Сединин. – Электрон. текстовые данные. – Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016. – 319 с. – 978-5-91434-036-7. – Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/69569.html">http://www.iprbookshop.ru/69569.html</a>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№п/п	Ресурс
15.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – Зональная научная библиотека ВГУ
16.	<a href="http://www.moodle.vsu.ru">http://www.moodle.vsu.ru</a>
17.	<a href="https://lanbook.com">https://lanbook.com</a> – ЭБС «Лань»
18.	<a href="https://biblioclub.ru">https://biblioclub.ru</a> – ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
19.	<a href="http://www.iprbookshop.ru">www.iprbookshop.ru</a> – ЭБС «IPRbooks»
20.	<a href="https://elibrary.ru">https://elibrary.ru</a> – Научная электронная библиотека
21.	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Образовательный портал "Электронный университет ВГУ"

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы**

№п/п	Источник
1.	Курганский, С.И. Разработка проектов в среде САПР QUARTUS II. Часть 1. Основные этапы проектирования: учебно-методическое пособие / С.И. Курганский, О.И. Дубровский, Е.Р. Лихачев, М.Д. Манякин // Воронежский государственный университет. - Воронеж. - 2016. - 34 с. – URL : <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m15-265.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m15-265.pdf</a>
2.	Быкадорова Г.В. Практикум по курсу "Проектирование и технология электронной компонентной базы" [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие для студентов: [для студ. 1 к. очной формы обучения физ. фак., ; для направления 210100 - Электроника и нанoeлектроника (профили подготовки Микроэлектроника и твердотельная электроника, Нанoeлектроника)] / Воронеж. гос. ун-т; сост.: Г. В. Быкадорова, А.Ю. Ткачев. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2014. – 32 с.
3.	Технологические комплексы интегрированных процессов производства изделий электроники [Электронный ресурс] / А.П. Достанко [и др.]. – Электрон. текстовые данные. – Минск: Белорусская наука, 2016. – 252 с. – 978-985-08-1993-2. – Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/61116.html">http://www.iprbookshop.ru/61116.html</a>
4.	Приборно-технологическое проектирование элементов МОП-ИС: учебно-методическое пособие / сост.: Е.Н. Бормонтов [идр.]. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2018. – 88 с.
5.	Яковенко Н.В. Самостоятельная работа студентов: методические рекомендации / Н.В. Яковенко, О.Ю. Сушкова. – Воронеж, 2015. – 22 с.

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

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; практические занятия; индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ-демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные;

компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

### 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лаборатория компьютерных технологий, САПР и математического моделирования кафедры физики твердого тела и наноструктур. Для проведения практических занятий необходим компьютерный класс с лицензионным программным обеспечением.

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

### 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Маршруты и этапы проектирования	ПКВ-1	ПКВ-1.1	Практическое занятие 1
2.	Автоматизация функционально-логического проектирования СнК	ПКВо-3	ПКВо-3.1 ПКВо-3.2 ПКВо-3.3	Практические занятия 2-4
		ПКВо-4	ПКВо-4.2	
3.	Автоматизация топологического проектирования СнК	ПКВо-1	ПКВо-1.1 ПКВо-1.2 ПКВо-1.3	Практическое занятие 5
4.	Физико-математические модели технологических процессов микро- и нанoeлектроники	ПКВо-3	ПКВо-3.1 ПКВо-3.2 ПКВо-3.3	Практические занятия 6,7
		ПКВ-2	ПКВ-2.3	
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет со оценкой				Перечень вопросов

### 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

#### Текущий контроль успеваемости

1) тестовые задания:

1. Укажите логическое выражение, дуальное по отношению к логическому выражению

$$x \cdot \bar{z} + \bar{y} \cdot u \cdot \bar{v}$$

(символ «+» обозначает операцию логического суммирования, символ «•» - операцию логического произведения, надчеркивание - операцию логического инвертирования).

а)  $(x + \bar{z}) \cdot (\bar{y} + u + \bar{v})$

б)  $\bar{x} + z \cdot y + \bar{u} + v$

в)  $(\bar{x} + z) \cdot (y + \bar{u} + v)$

2. Укажите логическое выражение, дуальное по отношению к логическому выражению

$$x \cdot \bar{z} \cdot \bar{y} + u \cdot \bar{v}$$

(символ «+» обозначает операцию логического суммирования, символ «•» - операцию логического произведения, надчеркивание - операцию логического инвертирования).

а)  $(\bar{x} + z + y) \cdot (\bar{u} + v)$

б)  $\bar{x} + z + y \cdot \bar{u} + v$

в)  $(x + \bar{z} + \bar{y}) \cdot (u + \bar{v})$

3. Укажите логическое выражение, дуальное по отношению к логическому выражению

$$\bar{y} + x \cdot \bar{z} \cdot u \cdot \bar{v}$$

(символ «+» обозначает операцию логического суммирования, символ «•» - операцию логического произведения, надчеркивание - операцию логического инвертирования).

- а)  $\bar{y} \cdot (x + \bar{z} + u + \bar{v})$
- б)  $y \cdot (\bar{x} + z + \bar{u} + v)$
- в)  $y \cdot \bar{x} + z + \bar{u} + v$

4. Укажите логическое выражение, дуальное по отношению к логическому выражению

$$\bar{z} \cdot u \cdot \bar{y} + x \cdot \bar{v}$$

(символ «+» обозначает операцию логического суммирования, символ «•» - операцию логического произведения, надчеркивание - операцию логического инвертирования).

- а)  $(z + \bar{u} + y) \cdot (\bar{x} + v)$
- б)  $z + \bar{u} + y \cdot \bar{x} + v$
- в)  $(\bar{z} + u + \bar{y}) \cdot (x + \bar{v})$

5. Укажите логическое выражение, дуальное по отношению к логическому выражению

$$\bar{z} \cdot u \cdot \bar{y} + x \cdot \bar{v} + z \cdot \bar{u}$$

(символ «+» обозначает операцию логического суммирования, символ «•» - операцию логического произведения, надчеркивание - операцию логического инвертирования).

- а)  $(\bar{z} + u + \bar{y}) \cdot (x + \bar{v}) \cdot (z + \bar{u})$
- б)  $z + \bar{u} + y \cdot \bar{x} + v \cdot \bar{z} + u$
- в)  $(z + \bar{u} + y) \cdot (\bar{x} + v) \cdot (\bar{z} + u)$

6. Укажите логическое выражение, дуальное по отношению к логическому выражению

$$\bar{z} \cdot \bar{y} + x \cdot \bar{v} \cdot u + z \cdot \bar{u}$$

(символ «+» обозначает операцию логического суммирования, символ «•» - операцию логического произведения, надчеркивание - операцию логического инвертирования).

- а)  $(z + y) \cdot (\bar{x} + v + \bar{u}) \cdot (\bar{z} + u)$
- б)  $(\bar{z} + \bar{y}) \cdot (x + \bar{v} + u) \cdot (z + \bar{u})$
- в)  $z + y \cdot \bar{x} + v + \bar{u} \cdot \bar{z} + u$

7. Укажите логическое выражение, дуальное по отношению к логическому выражению

$$\bar{z} \cdot \bar{y} \cdot \bar{v} \cdot u + x + z \cdot \bar{u}$$

(символ «+» обозначает операцию логического суммирования, символ «•» - операцию логического произведения, надчеркивание - операцию логического инвертирования).

- а)  $z + y + v + \bar{u} \cdot \bar{x} \cdot \bar{z} + u$
- б)  $(z + y + v + \bar{u}) \cdot \bar{x} \cdot (\bar{z} + u)$
- в)  $(\bar{z} + \bar{y} + \bar{v} + u) \cdot x \cdot (z + \bar{u})$

8. Укажите логическое выражение, дуальное по отношению к логическому выражению

$$\bar{z} \cdot \bar{y} \cdot u + x + \bar{v} \cdot z \cdot \bar{u}$$

(символ «+» обозначает операцию логического суммирования, символ «•» - операцию логического произведения, надчеркивание - операцию логического инвертирования).

- а)  $(\bar{z} + \bar{y} + u) \cdot x \cdot (\bar{v} + z + \bar{u})$
- б)  $(z + y + \bar{u}) \cdot \bar{x} \cdot (v + \bar{z} + u)$
- в)  $z + y + \bar{u} \cdot \bar{x} \cdot v + \bar{z} + u$

9. Укажите логическое выражение, дуальное по отношению к логическому выражению

$$\bar{z} \cdot \bar{y} + x \cdot u + \bar{v} \cdot z \cdot \bar{u}$$

(символ «+» обозначает операцию логического суммирования, символ «•» - операцию логического произведения, надчеркивание - операцию логического инвертирования).

- а)  $(\bar{z} + \bar{y}) \cdot (x + u) \cdot (\bar{v} + z + \bar{u})$
- б)  $z + y \cdot \bar{x} + \bar{u} \cdot v + \bar{z} + u$
- в)  $(z + y) \cdot (\bar{x} + \bar{u}) \cdot (v + \bar{z} + u)$

10. Укажите логическое выражение, дуальное по отношению к логическому выражению

$$\bar{z} \cdot \bar{y} + x \cdot u \cdot z + \bar{v} \cdot \bar{u}$$

(символ «+» обозначает операцию логического суммирования, символ «•» - операцию логического произведения, надчеркивание - операцию логического инвертирования).

произведения, надчеркивание - операцию логического инвертирования).

- а)  $(z + y) \cdot (\bar{x} + \bar{u} + \bar{z}) \cdot (v + u)$
- б)  $(\bar{z} + \bar{y}) \cdot (x + u + z) \cdot (\bar{v} + \bar{u})$
- в)  $z + y \cdot \bar{x} + \bar{u} + \bar{z} \cdot v + u$

11. Укажите логическое выражение, дуальное по отношению к логическому выражению

$$\bar{z} \cdot u \cdot \bar{y} + x \cdot z \cdot \bar{u} + \bar{v}$$

(символ «+» обозначает операцию логического суммирования, символ «•» - операцию логического произведения, надчеркивание - операцию логического инвертирования).

- а)  $z + \bar{u} + y \cdot \bar{x} + \bar{z} + u \cdot v$
- б)  $(\bar{z} + u + \bar{y}) \cdot (x + z + \bar{u}) \cdot \bar{v}$
- в)  $(z + \bar{u} + y) \cdot (\bar{x} + \bar{z} + u) \cdot v$

12. Укажите логическое выражение, дуальное по отношению к логическому выражению

$$\bar{z} \cdot u \cdot \bar{y} + x \cdot \bar{v} + z \cdot \bar{u}$$

(символ «+» обозначает операцию логического суммирования, символ «•» - операцию логического произведения, надчеркивание - операцию логического инвертирования).

- а)  $z + \bar{u} + y \cdot \bar{x} + v \cdot \bar{z} + u$
- б)  $(z + \bar{u} + y) \cdot (\bar{x} + v) \cdot (\bar{z} + u)$
- в)  $(\bar{z} + u + \bar{y}) \cdot (x + \bar{v}) \cdot (z + \bar{u})$

2) расчетные задачи:

1. Составьте карту Карно для логической функции  $f(x, y, z)$ , таблица истинности которой приведена ниже.

x	y	z	f
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

2. Составьте карту Карно для логической функции  $f(x, y, z)$ , таблица истинности которой приведена ниже.

x	y	z	f
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

3. Составьте карту Карно для логической функции  $f(x, y, z)$ , таблица истинности которой приведена ниже.

x	y	z	f
---	---	---	---

0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0

4. Составьте карту Карно для логической функции  $f(x, y, z)$ , таблица истинности которой приведена ниже.

x	y	z	f
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

5. Составьте карту Карно для логической функции  $f(x, y, z)$ , таблица истинности которой приведена ниже.

x	y	z	f
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

6. Составьте карту Карно для логической функции  $f(x, y, z)$ , таблица истинности которой приведена ниже.

x	y	z	f
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1

1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

7. Составьте карту Карно для логической функции  $f(x, y, z)$ , таблица истинности которой приведена ниже.

x	y	z	f
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

8. Составьте карту Карно для логической функции  $f(x, y, z)$ , таблица истинности которой приведена ниже.

x	y	z	f
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос, отчеты о ходе выполнения практических заданий, на основе которых выставляется предварительная оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно/неудовлетворительно*.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала предварительных оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для выполнения практических работ	Повышенный уровень	<i>Отлично</i>
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает незначительные ошибки при выполнении практических работ	Базовый уровень	<i>Хорошо</i>
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен выполнять практические работы	Пороговый уровень	<i>Удовлетворительно</i>

Неудовлетворительное выполнение тестовых заданий. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при выполнении практических работ	–	<i>Неудовлетворительно</i>
---	---	----------------------------

### **Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

#### **Перечень вопросов к зачету**

1. Этапы проектирования СнК и возможности их автоматизации. Вопросы эффективности автоматизированного проектирования.
2. Блочнo-иерархический подход к проектированию сложных систем. Восходящее и нисходящее проектирование.
3. Схема процесса проектирования на конкретном иерархическом уровне.
4. Определение набора блоков, реализуемых в виде аппаратной части, и набора блоков, реализуемых в виде программной части (разбиение СнК на аппаратную и программную части).
5. Методика разработки функционального описания цифровых блоков аппаратной части СнК.
6. Моделирование функционального описания с использованием программ событийного и (или) временного моделирования.
7. Определение стилей описания цифровых блоков и выбор языка описания аппаратуры.
8. Описание стандартного технологического маршрута проектирования КМОП.
9. Технологический файл с описанием топологических норм и ограничений проектирования.
10. Основы топологического описания проекта.
11. Проверка топологии на соответствие технологическим и электрическим правилам проекта. Диагностика и исправление ошибок проектирования.
12. Переход к геометрической информации.
13. СБИС типа вентильной матрицы.
14. СБИС на стандартных блоках.



15. Ограничения при проектировании топологии.
16. Критерии качества топологии.
17. Задачи разделения и группирования.
18. Алгоритмы разделения/группирования.
19. Задача размещения.
20. Конструктивные и итерационные методы размещения.
21. Задача трассировки.
22. Методы глобальной трассировки.
23. Методы индивидуальной трассировки.
24. Методы канальной трассировки.
25. Модель термического окисления.
26. Модель Дила-Гроува.
27. Линейный и параболический законы роста толщины оксидного слоя.
28. Аномальные эффекты на начальном этапе.
29. Модели диффузионных процессов.
30. Уравнения Фика.
31. Многомерные задачи диффузии.
32. Моделирование диффузионных процессов на этапах загонки и разгонки примесей.
33. Сегрегация примесей.
34. Диффузионное перераспределение примесей в окислительном процессе.
35. Модели процесса ионной имплантации.
36. Основные параметры распределения ионно-имплантированных примесей в зависимости от энергии.
37. Распределения имплантированных примесей.
38. Распределение Гаусса. Сопряженная гауссиана.
39. Распределение Пирсон-4.
40. Локальное легирование. Неортогональная имплантация.

### **Описание технологии проведения промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация по дисциплине – зачет со оценкой. В приложении к диплому вносится оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно*.

Оценка уровня освоения дисциплины «Проектирование систем на кристалле» осуществляется по следующим показателям:

- качество и своевременность выполнения практических работ;
- полнота ответов на вопросы контрольно-измерительного материала;
- полнота ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки освоения дисциплины «Проектирование систем на кристалле»:

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

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

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

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

Факт невыполнения требований, предъявляемых к студенту при освоении дисциплины «Проектирование систем на кристалле» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *неудовлетворительно*.

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

