

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Проектирование и технология электронной компонентной базы

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

11.04.04 - Электроника и нанoeлектроника

Направленность образовательной программы

Твердотельная электроника и нанoeлектроника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.03 Проектирование и технология электронной компонентной базы относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способность разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач, строить физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	<p>ПК-1.1: Знает методы построения физических и математических моделей приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники</p> <p>ПК-1.2: Умеет использовать стандартные программные средства для компьютерного моделирования приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p> <p>ПК-1.3: Имеет навыки разработки алгоритмов решения задач и использования стандартных программных средств их компьютерного моделирования</p>	<p>ПК-1.1: Знать: принципы работы электронной компонентной базы, методы проектирования, основные физические и технологические ограничения при проектировании и изготовлении изделий микро- и наноэлектроники</p> <p>ПК-1.2: Уметь: выбирать методы решения задач проектирования электронной компонентной базы, строить физические и математические модели приборов, схем и устройств, использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования</p> <p>ПК-1.3: Владеть: навыками применения существующих и разработки новых программных средств проектирования электронной компонентной базы, автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов</p>	Практическое задание	Экзамен: Контрольные вопросы

ПК-3: Способность применять фундаментальные представления о физических явлениях для достижения требуемых функциональных качеств приборов, схем и устройств электроники и наноэлектроники	<p>ПК-3.1: Знает фундаментальные основы физических явлений и процессов, лежащих в основе работы приборов и устройств электроники и наноэлектроники</p> <p>ПК-3.2: Умеет проводить экспериментальные работы по отработке и внедрению новых технологических процессов производства изделий электроники и наноэлектроники</p> <p>ПК-3.3: Имеет опыт разработки методик экспериментальной проверки технологических процессов и исследования параметров наноструктурированных материалов</p>	<p>ПК-3.1: Знать: фундаментальные основы технологии изготовления структур электроники и наноэлектроники, основные технологические этапы изготовления электронной компонентной базы, принципы выбора оптимальных параметров проведения технологических процессов; предельные возможности технологий, применяемых при производстве электронной компонентной базы</p> <p>ПК-3.2: Уметь: выбирать методы решения задач проектирования и изготовления электронной компонентной базы, проводить анализ и систематизацию полученных расчетных и экспериментальных результатов</p> <p>ПК-3.3: Владеть: навыками проектирования электронной компонентной базы</p>	Практическое задание	Экзамен: Контрольные вопросы
--	---	--	----------------------	---------------------------------

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
самостоятельная работа	74

Промежуточная аттестация	36 Экзамен
---------------------------------	-----------------------------

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	О Ф О	О Ф О	О Ф О	О Ф О	О Ф О
Введение	16	2	2	4	12
Тема 1. Физико-технологическое проектирование ЭКБ	18	3	3	6	12
Тема 2. Физико-топологическое проектирование ЭКБ	20	3	3	6	14
Тема 3. Схемотехническое проектирование ЭКБ	20	4	4	8	12
Тема 4. Функционально-логическое проектирование ЭКБ	16	2	2	4	12
Заключение	16	2	2	4	12
Аттестация	36				
КСР	2				2
Итого	144	16	16	34	74

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение. Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие сквозного проектирования изделий микроэлектроники на примере САПР «TCAD Sentaurus». Взаимосвязи процессов развития технологии и проектирования изделий микроэлектроники. Закон Мура. Физические и технологические ограничения технологии производства изделий микроэлектроники.
2. Физико-технологическое проектирование ЭКБ. Моделирование основных этапов технологического процесса изготовления изделий микроэлектроники. Реализация моделирования технологических процессов в САПР «TCAD Sentaurus» (эпитаксия, ионная имплантация, диффузия, окисление). Моделирование процесса ионного легирования. Алгоритм TRIM/TRIS. Взаимодействие ионов с аморфной и кристаллической мишенью. Понятие диэлектрического формализма. Особенности моделирования диффузионных процессов, процессов эпитаксии и окисления.
3. Физико-топологическое проектирование ЭКБ. Иерархия математических моделей переноса носителей заряда в полупроводниковых структурах. Реализация моделей переноса носителей заряда в САПР «TCAD Sentaurus». Перенос носителей заряда в наноструктурах. Продольное и поперечное квантование. Перенос носителей заряда в субмикронных структурах. Пределы применимости кинетического уравнения Больцмана. Метод частиц на основе процедуры Монте-Карло решения кинетического уравнения Больцмана. Перенос носителей заряда в субмикронных структурах. Система уравнений квазигидродинамического приближения. Пределы применимости квазигидродинамического приближения. Перенос носителей заряда в микронных структурах. Система уравнений диффузионно-

дрейфового приближения. Пределы применимости диффузионно-дрейфового приближения. Методы численного решения систем уравнений диффузионно-дрейфового и квазигидродинамического приближений. Метод расщепления по физическим процессам (метод Гуммеля). Метод прямых сведения системы уравнений переноса к системе дифференциально-алгебраических уравнений и особенности ее решения.

4. Схемотехническое проектирование ЭКБ. Методы описания линейного четырехполюсника. Импульсная и амплитудно-частотная характеристики линейного четырехполюсника. S-, Y-, Z-, H- и G-параметры четырехполюсника. Особенности описания нелинейного четырехполюсника. Эквивалентные схемы базовых полупроводниковых элементов: диода, биполярного транзистора, полевого транзистора.
5. Функционально-логическое проектирование ЭКБ. Макромоделирование аналоговых интегральных схем. Проектирование СВЧ монолитных интегральных схем в программе Microwave Office. Комбинаторная логика. Базовые логические элементы: И, ИЛИ, НЕ. Последовательная логика. Триггеры, счетчики, ячейка статической памяти. Основы архитектуры микропроцессора.
6. Заключение. О точности и достоверности результатов проектирования ЭКБ.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 32 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Используются авторские наработки.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование задания практических занятий
1.	3	Проектирование полупроводникового диода
2.	3	Проектирование биполярного транзистора
3.	3	Проектирование полевого транзистора

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование задания практических занятий
1.	3	Проектирование полупроводникового диода
2.	3	Проектирование биполярного транзистора
3.	3	Проектирование полевого транзистора

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все задания лабораторной работы. Отчеты оформлены правильно, полно и аккуратно. Представлены все необходимые рисунки, схемы и графики. Оформление графиков полностью соответствует общепринятым требованиям. Могут присутствовать незначительные недочёты, которые студент после замечания преподавателя способен исправить самостоятельно.
не зачтено	Не выполнены отчеты по лабораторным работам, одно или более заданий лабораторных работ. Отчеты выполнены с ошибками, не все рисунки и схемы представлены. Оформление графиков не соответствует общепринятым требованиям. Требования к оформлению отчетов не соблюдены.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

					ошибок		
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Экзаменационный билет №1

1. Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие сквозного проектирования изделий микроэлектроники на примере САПР «TCAD Sentaurus».
2. Триггерные устройства и их схемотехническая реализация.

Экзаменационный билет №2

1. Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие физико-технологического уровня проектирования.
2. Методы численного решения систем уравнений диффузионно-дрейфового и квазигидродинамического приближений. Метод прямых сведения системы уравнений переноса к системе дифференциально-алгебраических уравнений и особенности ее решения.

Экзаменационный билет №3

1. Взаимосвязи процессов развития технологии и проектирования изделий микроэлектроники. Закон Мура.
2. Эквивалентная схема полупроводникового диода.

Экзаменационный билет №4

1. Физические и технологические ограничения технологии производства изделий микроэлектроники.
2. Эквивалентная схема полевого транзистора.

Экзаменационный билет №5

1. Моделирование основных этапов технологического процесса изготовления изделий микроэлектроники. Реализация моделирования технологических процессов в САПР «TCAD Sentaurus» (эпитаксия, ионная имплантация, диффузия, окисление)
2. Методы описания линейного четырехполюсника. Импульсная и амплитудно-частотная характеристики линейного четырехполюсника. S-, Y-, Z-, H- и G-параметры четырехполюсника.

Экзаменационный билет №6

1. Моделирование процесса ионного легирования. Алгоритм TRIM.
2. Перенос носителей заряда в субмикронных структурах. Пределы применимости кинетического уравнения Больцмана. Метод частиц на основе процедуры Монте-Карло решения кинетического уравнения Больцмана.

Экзаменационный билет №7

1. Взаимодействие ионов с аморфной мишенью. Кристаллические мишени. Эффект каналирования.
2. Основы архитектуры микропроцессора.

Экзаменационный билет №8

1. Взаимодействие ионов с кристаллической мишенью. Понятие диэлектрического формализма.
2. Понятия точности и достоверности результатов моделирования электронной компонентной базы.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Экзаменационный билет №9

1. Особенности моделирования диффузионных процессов, процессов эпитаксии и окисления.
2. Эквивалентная схема биполярного транзистора.

Экзаменационный билет №10

1. Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие физико-топологического уровня проектирования.
2. Базовые логические элементы и их схемотехническая реализация.

Экзаменационный билет №11

1. Иерархия математических моделей переноса носителей заряда в полупроводниковых структурах. Реализация моделей переноса носителей заряда в САПР «TCAD Sentaurus».
2. Асинхронный счетчик и его схемотехническая реализация.

Экзаменационный билет №12

1. Перенос носителей заряда в наноструктурах. Продольное и поперечное квантование.

2. Синхронный счетчик и его схемотехническая реализация.

Экзаменационный билет №13

1. Перенос носителей заряда в субмикронных структурах. Система уравнений квазигидродинамического приближения. Пределы применимости квазигидродинамического приближения.
2. Макромоделирование аналоговых интегральных схем. Проектирование СВЧ монолитных интегральных схем в программе Microwave Office.

Экзаменационный билет №14

1. Перенос носителей заряда в микронных структурах. Система уравнений диффузионно-дрейфового приближения. Пределы применимости диффузионно-дрейфового приближения.
2. Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие схемотехнического уровня проектирования.

Экзаменационный билет №15

1. Методы численного решения систем уравнений диффузионно-дрейфового и квазигидродинамического приближений. Метод расщепления по физическим процессам (метод Гуммеля).
2. Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие функционально-логического уровня проектирования.

Экзаменационный билет №16

1. Особенности описания нелинейного четырехполюсника.
2. Ячейка статической памяти и ее схемотехническая реализация.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.
отлично	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные неточности.
очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания вопросов

Оценка	Критерии оценивания
	билета и отвечает с небольшими неточностями.
хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает средний уровень знания вопросов билета и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).
удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий, отвечая с наводящими вопросами преподавателя.
неудовлетворительно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.
плохо	Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Шкелев Евгений Иванович. Электронные цифровые системы и микропроцессоры : учеб. пособие / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2004. - 153 с. - ISBN 5-85746-785-3 : 28.00., 58 экз.

Дополнительная литература:

1. Шкелев Евгений Иванович. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств : учеб. пособие для студентов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки 010800 "Радиофизика" и специальности 090106 "Информ. безопасность телекоммуникац. систем" / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2012. - 111 с. - ISBN 978-5-91326-216-5 : 87.25., 2 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. Электронный ресурс <http://www.synopsys.com>
2. Демонстрационная версия программы «TCAD Sentaurus»
3. Демонстрационная версия программы «Microwave Office»

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Оснащение лабораторного практикума оборудованием, предназначенным для выполнения лабораторных

работ.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 11.04.04 - Электроника и нанoeлектроника.

Автор(ы): Пузанов Александр Сергеевич, кандидат физико-математических наук.

Рецензент(ы): Бурдов Владимир Анатольевич, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Павлов Дмитрий Алексеевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 09.01.2024, протокол № б/н.