

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 Ученого совета ННГУ

протокол № 4 от 26.04.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Проектирование и технология электронной компонентной базы

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

28.04.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Направленность образовательной программы

Квантовые и нейроморфные технологии

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.04.03 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-10: Способен осваивать существующие и разрабатывать новые технологические процессы и внедрение их в производство	<p>ПК-10.1: Имеет представление о существующих технологических процессах и применении их в производстве</p> <p>ПК-10.2: Осваивает существующие технологические процессы и внедряет их в производство</p> <p>ПК-10.3: Разрабатывает новые технологические процессы и подходы к внедрению их в производство</p>	<p>ПК-10.1: Знать принципы работы электронной компонентной базы.</p> <p>Уметь выбирать методы решения задач проектирования электронной компонентной базы.</p> <p>Владеть навыками применения существующих программных средств проектирования электронной компонентной базы.</p> <p>ПК-10.2: Знать методы проектирования и изготовления изделий микро- и нанoeлектроники.</p> <p>Уметь строить физические и математические модели приборов, схем и устройств.</p> <p>Владеть навыками разработки новых программных средств проектирования электронной компонентной базы.</p> <p>ПК-10.3: Знать основные физические и технологические ограничения при проектировании и</p>	<p>Практическое задание</p> <p>Индивидуальное устное собеседование</p>	<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p>

		<p>изготовлении изделий микро- и нанoeлектроники.</p> <p>Уметь использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования приборов, схем и устройств.</p> <p>Владеть навыками автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов.</p>		
--	--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
самостоятельная работа	38
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	
	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0
Введение	10	2	2	4	6
Тема 1. Физико-технологическое проектирование ЭКБ	14	3	3	6	8
Тема 2. Физико-топологическое проектирование ЭКБ	12	3	3	6	6

Тема 3. Схемотехническое проектирование ЭКБ	14	4	4	8	6
Тема 4. Функционально-логическое проектирование ЭКБ	10	2	2	4	6
Заключение	10	2	2	4	6
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	108	16	16	34	38

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.

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.

1. Введение в физику полупроводниковых диодов и методы их проектирования с использованием высокопроизводительных вычислений : учебное пособие / Волкова Е. В., Пузанов А. С., Оболенский С. В., Тарасова Е. А. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2020. - 78 с.
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/386>

2. Введение в физику транзисторов : учебное пособие / Е. А. Тарасова, А. С. Пузанов, Е. В. Волкова [и др.] ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2019. - 88 с. - Текст : электронный.
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/487>

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-10:

В ходе изучения курса обучающийся обязан выполнить 3 практических задания:

1. Проектирование полупроводникового диода.
2. Проектирование биполярного транзистора.
3. Проектирование полевого транзистора.

Практическое задание представляет собой последовательное физико-технологическое, физикотопологическое и схемотехническое проектирование заданного компонента интегральной схемы с применением доступного ПО. Практическое задание необходимо формализовать и реализовать, используя доступное ПО, а затем продемонстрировать преподавателю результат выполнения.

Методические материалы к заданию 1:

Введение в физику полупроводниковых диодов и методы их проектирования с использованием высокопроизводительных вычислений : учебное пособие / Волкова Е. В., Пузанов А. С., Оболенский С. В., Тарасова Е. А. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2020. - 78 с.

Методические материалы к заданиям 2 и 3:

Введение в физику транзисторов : учебное пособие / Е. А. Тарасова, А. С. Пузанов, Е. В. Волкова [и др.] ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2019. - 88 с. - Текст : электронный.

По итогам выполнения практического задания обязан написать отчет. Отчет должен демонстрировать результат выполнения практического задания. Отчет должен включать следующие обязательные элементы: содержание, цель работы, теоретическую часть, описание методики, практическую часть, включающую описание и обсуждение результатов, заключение и/или выводы, список использованных источников. Отчет не должен содержать неправомерных заимствований.

Объем отчета – 15-30 стр. формата А4 (шрифт Times New Roman 12 пт, междустрочный интервал – полуторный, интервал между абзацами – отсутствует, поля – верхнее 2 см, нижнее 2 см, левое 3 см, правое 1,5 см).

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Практические задания выполнены, отчеты представлены и приняты преподавателем.
не зачтено	Практические задания не выполнены, либо по ним не представлены отчеты, либо отчеты не приняты преподавателем по причине наличия в них существенных недоработок, методических ошибок при выполнении лабораторных работ или неправомерных заимствований.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Индивидуальное устное собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-10:

1. В чем заключаются основные преимущества сквозного проектирования электронной компонентной базы.
2. В чем заключается физико-технологическое моделирование электронной компонентной базы?
3. В чем заключается физико-топологическое моделирование электронной компонентной базы?
4. В чем заключается метод эквивалентной схемы для диодных и транзисторных структур?
5. В чем заключается основная идея алгоритма Монте-Карло?
6. Сеточные методы решения задач переноса носителей заряда в полупроводниковых структурах.

Критерии оценивания (оценочное средство - Индивидуальное устное собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Обучающийся успешно показал базовые знания теоретических основ курса
не зачтено	Обучающийся не продемонстрировал никаких знаний теоретических основ курса

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 ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<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	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы 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	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован 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-10

1. Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие сквозного проектирования изделий микроэлектроники на примере САПР «TCAD Sentaurus».
2. Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие физико-технологического уровня проектирования.
3. Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие физико-топологического уровня проектирования.
4. Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие схемотехнического уровня проектирования.
5. Иерархия моделирования и проектирования микро- и наноструктур изделий электронной компонентной базы. Понятие функционально-логического уровня проектирования.
6. Взаимосвязи процессов развития технологии и проектирования изделий микроэлектроники. Закон Мура.
7. Физические и технологические ограничения технологии производства изделий микроэлектроники.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Отличная подготовка. Обучающийся 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. Обучающийся отвечает полностью на вопросы билета в

Оценка	Критерии оценивания
	рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные неточности.
очень хорошо	Хорошая подготовка. Обучающийся показывает хороший уровень знания вопросов билета и отвечает с небольшими неточностями.
хорошо	Хорошая подготовка. Обучающийся показывает средний уровень знания вопросов билета и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).
удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Обучающийся показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий, отвечая с наводящими вопросами преподавателя.
неудовлетворительно	Обучающийся 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. Щука Александр Александрович. Электроника в 4 ч. Часть 2. Микроэлектроника : Учебник для вузов / Щука А. А., Сигов А. С. ; отв. ред. Сигов А. С. - 2-е изд. - Москва : Юрайт, 2020. - 326 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-534-01867-7 : 779.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=590485&idb=0>.
2. Основы работы в среде приборно-технологической САПР SENTAURUS. - Воронеж : ВГУ, 2017. - 97 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ВГУ - Инженерно-технические науки., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=730927&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Плотников Геннадий Семенович. Микроэлектроника: основы молекулярной электроники : учебное пособие для вузов / Г. С. Плотников, В. Б. Зайцев. - 2-е изд. - Москва : Юрайт, 2024. - 166 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/539169> (дата обращения: 15.08.2024). - ISBN 978-5-534-03637-4 : 649.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=911036&idb=0>.

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»;
4. ОС Windows и пакет 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: лабораторным оборудованием ННГУ.

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 ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 28.04.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника.

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 15.04.2024, протокол № б/н.