

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

Физико-химические основы технологии мемристорной наноэлектроники

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.08.03 Физико-химические основы технологии мемристорной наноэлектроники 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-11: Способен оптимизировать параметры технологических операций получения микро- и наносистем и изделий на их основе	<p>ПК-11.1: Имеет представление о современных технологических операциях получения микро- и наносистем и изделий на их основе</p> <p>ПК-11.2: Осваивает существующие технологические операции получения микро- и наносистем и изделий на их основе</p> <p>ПК-11.3: Оптимизирует параметры технологических операций получения микро- и наносистем и изделий на их основе</p>	<p>ПК-11.1:</p> <p>Знать современные методы мемристорной наноэлектроники.</p> <p>Уметь разрабатывать интегральные схемы мемристорной наноэлектроники.</p> <p>Владеть навыками разработок интегральных схем мемристорной наноэлектроники.</p> <p>ПК-11.2:</p> <p>Знать подходы к совершенствованию методик в мемристорной наноэлектронике.</p> <p>Уметь совершенствовать новые методы и методики в мемристорной наноэлектронике.</p> <p>Владеть навыками совершенствования новых методов и методик в мемристорной наноэлектронике.</p> <p>ПК-11.3:</p> <p>Знать подходы к разработке новых методик в</p>	Тест	Экзамен: Контрольные вопросы

		<p>мемристорной наноэлектронике.</p> <p>Уметь внедрять новые методы и методики в мемристорной наноэлектронике.</p> <p>Владеть навыками внедрения новых методов и методик в мемристорной наноэлектронике.</p>		
--	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

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	
	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0
Тема 1. Наноэлектроника нейроморфных информационно-вычислительных систем	14	2	2	4	10
Тема 2. Механизмы функционирования приборов наноэлектроники нейроморфных систем (на примере мемристивных наноструктур и устройств)	20	2	2	4	16

Тема 3. Многомасштабное моделирование приборов нанoeлектроники нейроморфных систем (на примере мемристивных наноструктур и устройств)	24	4	4	8	16
Тема 4. Технология изготовления приборов нанoeлектроники нейроморфных систем (на примере мемристивных наноструктур и устройств)	24	4	4	8	16
Тема 5. Методы исследования и тестирования приборов нанoeлектроники нейроморфных систем (на примере мемристивных наноструктур и устройств)	24	4	4	8	16
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	144	16	16	34	74

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Нанoeлектроника нейроморфных информационно-вычислительных систем.

Биологические и формальные нейроны. Биологические и формальные нейронные сети. Понятие нейроморфных вычислительных систем. Реализация биоподобных нейронов и синапсов с помощью мемристивных структур.

2. Механизмы функционирования приборов нанoeлектроники нейроморфных систем (на примере мемристивных наноструктур и устройств).

Искусственные нейроны и синапсы. Мемристоры. Виды мемристоров. Резистивное переключение.

3. Многомасштабное моделирование приборов нанoeлектроники нейроморфных систем (на примере мемристивных наноструктур и устройств).

Основы физико-технологического моделирования мемристорных приборов. Основы физико-топологического проектирования мемристорных приборов. Основы схемотехнического моделирования электронных нейроморфных систем.

4. Технология изготовления приборов нанoeлектроники нейроморфных систем (на примере мемристивных наноструктур и устройств).

Материалы для изготовления мемристивных структур. Диэлектрические слои. Металлические контакты. Способы нанесения. Механизмы резистивного переключения.

5. Методы исследования и тестирования приборов нанoeлектроники нейроморфных систем (на примере мемристивных наноструктур и устройств).

Исследование вольт-амперных характеристик мемристоров. Основные электрофизические характеристики мемристивных структур. Взаимосвязь электрофизических характеристик с технологическими параметрами.

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. Особенности электрофизических характеристик мемристивных структур на основе диоксида кремния : учебно-методическое пособие / А. Н. Михайлов, А. И. Белов, Д. И. Тетельбаум [и др.]

; ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Институт экономики и предпринимательства. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2017. - 39 с. - Текст : электронный.
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/1293>

2. Измерение и анализ электрофизических характеристик мемристорных структур : учебно-методическое пособие / О. Н. Горшков, С. В. Тихов, М. Н. Коряжкина [и др.] ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2015. - 31 с. - Текст : электронный.
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/2280>

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 - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-11:

Вопрос 1. Мемристором называют:

- А) пассивный элемент, способный проводить ток;
- Б) пассивный элемент, способный изменять сопротивление;
- В) активный элемент, способный изменять сопротивление.

Вопрос 2. Кем открыта теоретическая модель мемристора?

- А) Ю. Сью;
- Б) Х. Крамерс;
- В) Л. Чуа.

Вопрос 3. Механизм резистивного переключения в оксидах основан на...

- А) дрейфе вакансий кислорода;
- Б) филаментации;
- В) квантовом каналировании.

Вопрос 4. Назовите перспективные области применения мемристора:

- А) энергонезависимая компьютерная память;
- Б) нейроморфные электронные устройства;
- В) квантовые компьютеры.

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Не менее 60% правильных ответов на вопросы из теста
не зачтено	Менее 60% правильных ответов на вопросы из теста

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 отдельным 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 некоторым и недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и 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-11

1. Понятие мемристора согласно Л. Чуа.
2. Материалы, используемые для создания мемристоров.
3. Физические свойства аморфных диэлектриков.
4. Явления электрического и диэлектрического пробоя диэлектриков.
5. Явление резистивного переключения. Виды мемристоров.
6. Технологии нанесения тонких диэлектрических пленок.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Обучающийся продемонстрировал уровень знаний в объеме, превышающем стандартную программу подготовки, и продемонстрировал творческий подход к выполнению практических заданий повышенного уровня сложности.
отлично	Обучающийся продемонстрировал связное изложение всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий повышенного уровня сложности.

Оценка	Критерии оценивания
очень хорошо	Обучающийся продемонстрировал связное изложение практически всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий.
хорошо	Обучающийся продемонстрировал связное изложение основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий.
удовлетворительно	Обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности.
неудовлетворительно	Обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий.
плохо	Обучающийся не продемонстрировал никаких знаний об основных теоретических разделах курса, не показал никаких умений и навыков выполнения практических заданий.

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

Основная литература:

1. Драгунов В. П. Нанoeлектроника в 2 ч. Часть 1 / Драгунов В. П., Неизвестный И. Г., Гридчин В. А. - 3-е изд. ; испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2022. - 285 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/489938> (дата обращения: 05.01.2022). - ISBN 978-5-534-05170-4 : 909.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=786115&idb=0>.
2. Драгунов В. П. Нанoeлектроника в 2 ч. Часть 2 / Драгунов В. П., Неизвестный И. Г., Гридчин В. А. - 3-е изд. ; испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2022. - 235 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/492858> (дата обращения: 05.01.2022). - ISBN 978-5-534-05171-1 : 769.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=784317&idb=0>.
3. Щука А. А. Нанoeлектроника : учебник / А. А. Щука ; под общей редакцией А. С. Сигова. - Москва : Юрайт, 2023. - 297 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-9916-8280-0. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=847604&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Смирнов В.И. Нанoeлектроника, нанофотоника и микросистемная техника : учебное пособие / Смирнов В.И. - Москва : Инфра-Инженерия, 2023. - 268 с. - ISBN 978-5-9729-1244-5., <https://e->

lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=913298&idb=0.

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

- 1) ОС Windows и пакет Office;
- 2) интернет-ресурс справочной и математической литературы со свободным доступом www.eqworld.ipmnet.ru;
- 3) интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ <http://www.lib.unn.ru/>.

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): Михайлов Алексей Николаевич, кандидат физико-математических наук.

Рецензент(ы): Багракова Марина Валерьевна, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Конаков Антон Алексеевич, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 15.04.2024, протокол № б/н.