

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Гаврилов Сергей Александрович
Должность: И.О. Ректора
Дата подписания: 23.09.2015 16:57:51
Уникальный программный ключ:
f17218015d82e3c1457d1df9e244def505047355

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
А.Г.Балашов
«10» сентября 2025 г.
М.П.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Физикотермические процессы и оборудование»

Направление подготовки - 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»

Направленность (профиль) – «Конструирование и производство технологического оборудования для производства электронной компонентной базы»

Программа разработана в Передовой инженерной школе
«Средства проектирования и производства
электронной компонентной базы»

Москва 2025

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Компетенция ПК-2 «Способность аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик технических систем и технологических процессов производства изделий микроэлектроники»

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-2. ФТО Способен аргументированно выбирать и применять на практике эффективные методики экспериментального исследования параметров и характеристик физикотермических процессов и оборудования, используемых в производстве изделий микроэлектроники.	-выбор и применение методик экспериментального исследования параметров физикотермических процессов и оборудования; -проведение измерений, обработка и анализ экспериментальных данных	Знания: принципы физикотермических процессов, методы экспериментального исследования параметров и характеристик оборудования. Умения: обоснованно выбирать методики исследований, проводить эксперименты, анализировать и интерпретировать данные. Опыт деятельности: по проведению экспериментальных исследований, применению измерительных методов и оборудования, оформлению результатов

Компетенция ПК-6 «Способность проводить анализ конструктивно-технологических параметров современного оборудования электронного машиностроения, проектировать его устройства и узлы с учетом требований реализуемых перспективных технологических процессов производства электронной компонентной базы»

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-6. ФТО Способен проводить анализ конструктивно-	-анализ конструктивных и технологических параметров оборудования для физикотермических	Знания: устройство и принципы работы оборудования для физикотермических процессов, требования современных

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
технологических параметров оборудования, реализующего физикотермические процессы в производстве электронной компонентной базы, и проектировать его устройства и узлы с учетом требований перспективных технологических процессов микроэлектроники.	процессов; -проектирование узлов и устройств оборудования с учетом требований современных технологий микроэлектроники	технологий к его параметрам. Умения: анализировать конструктивные решения, учитывать технологические требования при проектировании элементов оборудования. Опыт деятельности: по участию в анализе и проектировании узлов оборудования, подборе решений, соответствующих требованиям микроэлектронных производств

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Входные требования к дисциплине:

- знание основ термодинамики, тепло- и массообмена, методов математического моделирования;
- умение анализировать термические процессы и параметры работы оборудования;
- владение навыками использования программных средств для обработки экспериментальных данных и моделирования термических процессов.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
4	7	5	180	16	16	32	80	Экз (36)

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
1. Основы физикотермических процессов в микроэлектронной промышленности	8	32	16	52	Защита лабораторных работ
					Тестирование
					Подготовка к экзамену
2. Теоретические и экспериментальные методы исследования физикотермических процессов	4	-	8	52	Защита лабораторных работ
					Тестирование
					Подготовка к экзамену
3. Оборудование для проведения физикотермических процессов	4	-	8	52	Защита лабораторных работ
					Тестирование
					Подготовка к экзамену

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Введение в физикотермические процессы и технологии обработки полупроводников
	2	2	Образование диэлектрических слоёв: физикотермические механизмы и технологические подходы
	3	2	Легирование полупроводников через процессы диффузии и их реализация в оборудовании
	4	2	Формирование эпитаксиальных структур в условиях контролируемого теплового воздействия
2	5	2	Физические основы переноса энергии и вещества в микроэлектронных технологиях
	6	2	Прикладное моделирование физикотермических процессов: базовые подходы и примеры
3	7	2	Технические средства для реализации физикотермических операций в микроэлектронике
	8	2	Аппараты и установки для физикохимических процессов с тепловой активацией

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	4	Анализ технологических маршрутов с использованием физикотермических процессов
	2	4	Расчетные модели роста диэлектрических слоёв при термическом окислении
	3	4	Диффузия примесей в кремнии: моделирование и расчет температурных режимов
	4	4	Оценка условий эпитаксиального роста: температурные профили и

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
			градиенты
2	5	4	Решение задач по теплопереносу и массообмену в структурах микроэлектроники
	6	4	Применение численных методов для оценки параметров физикотермических процессов
3	7	4	Сравнительный анализ конструктивных решений оборудования для термообработки
	8	4	Разработка параметров процессов в установках CVD, RTP и плазмохимического осаждения

4.3. Лабораторные работы

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
1	1	4	Анализ конструктивных решений и тепловых режимов в установках начальной обработки полупроводников
	2	4	Расчёт параметров процесса термического окисления и анализ оборудования для его проведения
	3	4	Исследование диффузионных процессов и взаимодействие с виртуальной моделью диффузионной печи
	4	4	Оценка параметров эпитаксиального роста и устройство оборудования для контролируемого осаждения слоёв

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	10	Подготовка к лекциям 1-4
	8	Подготовка и прохождение тестирования по модулю 1
	24	Выполнение заданий по модулю и подготовка доклада
	6	Подготовка к лабораторной работе 1

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
	6	Подготовка к лабораторной работе 2
	6	Подготовка к лабораторной работе 3
	6	Подготовка к лабораторной работе 4
	12	Подготовка к экзамену
2	8	Подготовка к лекциям 5,6
	4	Подготовка и прохождение тестирования по модулю 2
	15	Выполнение заданий по модулю и подготовка доклада
	12	Подготовка к экзамену
3	8	Подготовка к лекциям 7,8
	4	Подготовка и прохождение тестирования по модулю 3
	15	Выполнение заданий по модулю и подготовка доклада
	12	Подготовка к экзамену

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС// URL: , <http://orioks.miet.ru/>):

- Сценарий обучения по дисциплине «Физикотермические процессы и оборудование».

Модуль 1 «Основы физикотермических процессов в микроэлектронной промышленности»

- ✓ Конспект лекций 1-4 по дисциплине.
- ✓ Методические указания по выполнению Лабораторных работ 1-4.
- ✓ Методические указания к практическим занятиям 1-4

Модуль 2 «Теоретические и экспериментальные методы исследования физикотермических процессов»

- ✓ Конспект лекций 5,6 по дисциплине.
- ✓ Методические указания к практическим занятиям 5,6

Модуль 3 «Оборудование для проведения физикотермических процессов»

- ✓ Конспект лекций 7,8 по дисциплине.
- ✓ Методические указания к практическим занятиям 7,8

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Родионов Ю.А. Технологические процессы в микро- и нанoeлектронике : Учеб. пособие / Ю.А. Родионов. - М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. - 352 с. - URL: <https://znanium.com/catalog/document?id=346720> (дата обращения: 13.06.2025). - ISBN 978-5-9729-0337-5.
2. Бодров, Е. Э. Основы технологии электронной компонентной базы : учебное пособие / Е. Э. Бодров. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. - 204 с. - ISBN 978-5-9729-0846-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1902462> (дата обращения: 13.06.2025). – Режим доступа: по подписке.
3. Камлюк, В. С. Современное технологическое оборудование для микроэлектроники : учебное пособие / В. С. Камлюк, Д. В. Камлюк. — Минск : РИПО, 2022. — 266 с. — ISBN 978-985-895-032-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/334148> (дата обращения: 13.06.2025). — Режим доступа: по подписке.
4. Белоус, А. И. Материалы и устройства нанoeлектроники. Электроника после Мура : научно-популярное издание / А. И. Белоус, В. А. Солодуха. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. - 564 с. - ISBN 978-5-9729-1045-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1902693> (дата обращения: 13.06.2025). – Режим доступа: по подписке.

Периодические издания

1. МИКРОЭЛЕКТРОНИКА / РАН. - Москва : ИКЦ Академкнига, 1972 - . - URL: <https://eivis.ru/browse/publication/79437> (дата обращения: 13.06.2025). - Режим доступа: по подписке.
2. ФИЗИКА И ТЕХНИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ = SEMICONDUCTORS / РАН, Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе; Гл. ред. Р.А. Сурис. - СПб. : Наука, 1967 - . – URL: <https://link.springer.com/journal/11453> (дата обращения: 13.06.2025)
3. НАНО- И МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА: Ежемес. междисциплинарный теорет. и приклад. науч.-техн. журн. / РАН, Отделение информационных технологий и вычислительных систем. - М. : Новые технологии : Нано-микросистемная техника, 1999 - .
4. РОССИЙСКИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ = NANOTECHNOLOGIES IN RUSSIA / Федеральное агентство по науке и инновациям РФ, Парк-медиа. - М. : ИКЦ Академкнига, 2006 - . URL: <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=10601> (дата обращения: 13.06.2025)

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. eLIBRARY.RU: Научная электронная библиотека : сайт. URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp>. (дата обращения: 13.06.2025) - Режим доступа : для зарегистрир. пользователей.
2. Электронно-библиотечная система Лань : URL: <https://e.lanbook.com/> (дата обращения: 13.06.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.
3. Электронно-библиотечная система Znanium : URL: <https://znanium.ru> (дата обращения: 13.06.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации обучения используется смешанное обучение: основано на интеграции технологий традиционного и электронного обучения, замещении части традиционных учебных форм занятий формами и видами взаимодействия в электронной образовательной среде.

Обучение может реализовываться в полном объеме с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС.

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: ОРИОКС «Домашние задания», электронная почта преподавателя и др.

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются **внутренние электронные ресурсы** (<http://orioks.miet.ru>): электронные версии лекций, методических рекомендаций для лабораторных работ и ПОП, литературы и видеороликов по тематике курса и др.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Компьютерный класс, аудитория №4116	Компьютеры Raskat Station 930 (r9 7900X, B650, RAM 32Gb, SSD 1Tb, 16Gb A4000, 650W, NoOS) WR3/456	Microsoft Office Professional Plus 2013 (п. 15. Реестра ПО). Adobe Reader. Интерактивная VR-лаборатория

		«Термическая диффузия»
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	ОС Microsoft Windows, Microsoft Office, браузер

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

1. ФОС по компетенции/подкомпетенции **ПК- 2. ФТО** «Способен аргументированно выбирать и применять на практике эффективные методики экспериментального исследования параметров и характеристик физикотермических процессов и оборудования, используемых в производстве изделий микроэлектроники».
2. ФОС по компетенции/подкомпетенции **ПК- -6. ФТО** «Способен проводить анализ конструктивно-технологических параметров оборудования, реализующего физикотермические процессы в производстве электронной компонентной базы, и проектировать его устройства и узлы с учетом требований перспективных технологических процессов микроэлектроники».

Фонды оценочных средств представлены отдельными документами и размещены в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Особенности организации процесса обучения

Изучение дисциплины включает в себя различные формы учебной работы: лекции, лабораторные работы, практические занятия, самостоятельную работу студентов (СРС), а также контрольные мероприятия.

Программа дисциплины реализуется в модульной форме: материал подаётся последовательно, переход к следующему модулю возможен только после подтверждения освоения предыдущего. Освоение тем проверяется с помощью контрольных работ и/или тестирования по каждому модулю.

Самостоятельная работа студентов направлена на развитие аналитических навыков и углублённое понимание механизмов физикотермических процессов и функционирования профильного оборудования. Основу СРС составляют задания исследовательского и расчётного характера, которые ориентированы на практические аспекты инженерной деятельности.

Особое внимание в организации СРС уделяется публичному представлению её результатов. Демонстрация и защита выполненных заданий проводится в форме докладов

и обсуждений на практических занятиях, что способствует формированию у студентов навыков профессиональной коммуникации и аргументации технических решений.

Результаты выполнения лабораторных работ, заданий СРС и контрольных мероприятий подлежат обязательной загрузке в электронное портфолио студента через систему ОРИОКС.

По завершении курса предусмотрен экзамен. Итоговая оценка формируется на основе накопленной рейтинговой системы, учитывающей результаты всех форм учебной активности.

Более подробная информация изложена в сценарии дисциплины.

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительно-балльная система.

Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (в сумме – до 77 баллов включительно), сдача активность в семестре (в сумме до 8 баллов).

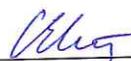
По завершению изучения дисциплины предусмотрен экзамен (15 баллов). Перечень контрольных мероприятий и методика их балльной оценки изложена в сценарии по дисциплине.

По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету: *удовлетворительно* – от 50 до 69 баллов включительно; *хорошо* – от 70 до 84 включительно; *отлично* – более 85 баллов включительно.

Структура и график контрольных мероприятий доступен в журнале успеваемости в ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/> .

РАЗРАБОТЧИК:

Доцент Института НМСТ, к.т.н.



/С.С. Евстафьев/

Рабочая программа дисциплины «Физикотермические процессы и оборудование» по направлению подготовки 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств», направленности (профилю) «Конструирование и производство технологического оборудования для производства электронной компонентной базы» разработана и утверждена на заседании Института НМСТ 16 июня 2025 года, протокол № 12.

Директор института НМСТ

 / С.П.Тимошенко /

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с Передовой инженерной школой

Директор ПИШ  / А.Л. Переверзев /

Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК  / И.М.Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

/ Директор библиотеки  / Т.П.Филиппова /