

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Беспалов Владимир Александрович

Должность: Ректор МИЭТ

Дата подписания: 05.02.2025 12:08:28

Уникальный программный ключ:

ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736a76c8f81ba827894603

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

«4» декабря 2024 г.

М.П.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Методы и средства исследования и оптимизации термических процессов и оборудования»

Направление подготовки - 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств»

Направленность (профиль) – «Технологическое оборудование для производства изделий микроэлектроники и микросистемной техники»

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

Москва 2024

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

Компетенция ПК-1 «Способен формулировать цели и задачи научных исследований, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач, делать научно-обоснованные выводы, готовить научные публикации и заявки на изобретения»

Обобщенная трудовая функция. Проведение научных исследований

Трудовая функция. Планировать научные исследования, определяя цели, задачи и методы исследования

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения компетенций
ПК-1. ТПО Способен формулировать цели и задачи научных исследований термических процессов и оборудования, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач и делать обоснованные выводы	- постановка целей и задач исследований термических процессов и оборудования. - выбор методик, выполнение исследований, анализ полученных данных, формулирование обоснованных выводов	Знания: основные законы термодинамики, методы экспериментальных и теоретических исследований термических процессов и оборудования. Умения: формулировать цели и задачи исследований, выбирать методы их реализации, анализировать результаты и делать выводы. Опыт деятельности: по самостоятельному выполнению научных исследований, проектированию экспериментов, применению теоретических и экспериментальных методов в области термических процессов и оборудования.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

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

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)		
2	3	7	252	16	32	-	168	Экз (36)

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия		
1. Основы термических процессов в микроэлектронной промышленности	4	4	-	36	Защита лабораторных работ
					Тестирование
					Контроль выполнения практико-ориентированного задания
2. Теоретические методы исследования термических процессов	4	8	-	42	Защита лабораторных работ
					Тестирование
					Контроль выполнения практико-ориентированного задания
3. Экспериментальные методы и средства	4	12	-	54	Защита лабораторных работ
					Тестирование

исследования термических процессов					Контроль выполнения практико-ориентированного задания
4. Оптимизация термических процессов и оборудования для микроэлектронной промышленности	4	8	-	36	Защита лабораторных работ
					Тестирование
					Сдача практико-ориентированного задания

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Введение в термические процессы в микроэлектронной промышленности. Роль термических процессов в производстве интегральных схем. Основы тепло- и массообмена в миниатюрных системах.
	2	2	Основные типы термических процессов: окисление, диффузия, эпитаксия. Особенности их протекания в оборудовании микроэлектроники.
2	3	2	Теоретические методы исследования термических процессов. Применение законов термодинамики, уравнений тепло- и массообмена для анализа процессов в микроэлектронных системах.
	4	2	Численные методы моделирования термических процессов. Обзор программных средств, алгоритмов и подходов для моделирования. Основные критерии точности расчетов.
3	5	2	Экспериментальные методы исследования. Основные подходы и инструменты: термография, датчики температуры, методики измерения потоков тепла и массы.
	6	2	Современное оборудование для исследования термических процессов. Принципы работы экспериментальных установок и приборов, их применение в задачах микроэлектроники.
4	7	2	Основы оптимизации термических процессов. Методы оптимизации: градиентные, стохастические, эволюционные. Применение методов в задачах повышения производительности и эффективности

			оборудования.
	8	2	Практические аспекты проектирования оборудования для микроэлектронной промышленности. Интеграция методов исследования и оптимизации в процесс разработки оборудования.

4.2. Практические занятия

Не предусмотрены

4.3. Лабораторные занятия

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
1	1	4	Изучение основных законов тепло- и массообмена. Содержание: экспериментальное определение коэффициентов теплопроводности и теплоотдачи, анализ тепловых потоков в простых системах.
2	2	4	Аналитическое моделирование термических процессов. Содержание: расчет распределения температур в пластине при различных граничных условиях.
	3	4	Численное моделирование тепловых процессов. Содержание: использование программного обеспечения для моделирования тепловых полей в микроэлектронных структурах
3	4	4	Измерение тепловых потоков в многослойных структурах. Содержание: использование термопар и тепловизоров для анализа теплопередачи в моделях микроэлектронных устройств.
	5	4	Термическая диффузия. Содержание: расчет теплового баланса диффузионной печи, определение ее мощности и загрузки, проведение виртуального процесса и анализ корректности расчетов (при занятии применяется интерактивная VR-лаборатория «Термическая диффузия»).
	6	4	Термография микроэлектронных устройств. Содержание: использование термографического оборудования для диагностики температурных полей в устройствах
4	7	4	Оптимизация параметров термического процесса. Содержание: расчет оптимальных режимов работы оборудования для минимизации энергозатрат и улучшения качества продукции.
	8	4	Проектирование термического оборудования с учетом

			оптимизационных критериев. Содержание: подбор параметров для создания эффективного оборудования с использованием методов теоретического и экспериментального анализа.
--	--	--	---

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	8	Подготовка к лекциям №1, 2.
	6	Подготовка к лабораторной работе №1.
	6	Подготовка и прохождение теста №1.
	16	Выполнение практико-ориентированного задания (Часть 1).
2	8	Подготовка к лекциям №3, 4.
	6	Подготовка к лабораторной работе №2.
	6	Подготовка к лабораторной работе №3.
	6	Подготовка и прохождение теста №2.
	16	Выполнение практико-ориентированного задания (Часть 2).
3	8	Подготовка к лекциям №5, 6.
	6	Подготовка к лабораторной работе №4.
	6	Подготовка к лабораторной работе №5.
	6	Подготовка к лабораторной работе №6.
	6	Подготовка и прохождение теста №3.
	22	Выполнение практико-ориентированного задания (Часть 3).
4	8	Подготовка к лекциям №7, 8.
	6	Подготовка к лабораторной работе №7.
	6	Подготовка к лабораторной работе №8.
	6	Подготовка и прохождение теста №4.
	10	Выполнение практико-ориентированного задания и его защита.

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, <http://orioks.miet.ru/>):

- Сценарий обучения по дисциплине.
- Методические указания для студентов по изучению дисциплины «Методы и средства исследования и оптимизации термических процессов и оборудования».

Модуль 1. Основы термических процессов в микроэлектронной промышленности

- Конспект лекций 1 и 2 по дисциплине.
- Методические указания по выполнению Лабораторной работы 1.
- Методические указания к выполнению практико-ориентированного задания

(Часть 1).

Модуль 2. Теоретические методы исследования термических процессов

Конспект лекций 3 и 4 по дисциплине.

- Методические указания по выполнению Лабораторной работы 2.
- Методические указания по выполнению Лабораторной работы 3.
- Методические указания к выполнению практико-ориентированного задания

(Часть 2).

Модуль 3. Экспериментальные методы и средства исследования термических процессов

- Конспект лекций 5 и 6 по дисциплине.
- Методические указания по выполнению Лабораторной работы 4.
- Методические указания по выполнению Лабораторной работы 5.
- Методические указания по выполнению Лабораторной работы 6.
- Методические указания к выполнению практико-ориентированного задания

(Часть 3).

Модуль 4. Оптимизация термических процессов и оборудования для микроэлектронной промышленности

- Конспект лекций 7 и 8 по дисциплине.
- Методические указания по выполнению Лабораторной работы 7.
- Методические указания по выполнению Лабораторной работы 8.
- Методические указания к выполнению практико-ориентированного задания

(Часть 4).

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: 01.09.2022). - 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: 31.10.2024). – 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: 31.10.2024). — 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: 31.10.2024). – Режим доступа: по подписке.

Периодические издания

1. МИКРОЭЛЕКТРОНИКА / РАН. - Москва : ИКЦ Академкнига, 1972 - . - URL: <https://eivis.ru/browse/publication/79437> (дата обращения: 28.10.2024). - 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: 31.10.2024)
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: 11.12.2024)

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. eLIBRARY.RU: Научная электронная библиотека : сайт. URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp>. (дата обращения: 31.10.2024) - Режим доступа : для зарегистрир. пользователей.
2. Электронно-библиотечная система Лань : URL: <https://e.lanbook.com/> (дата обращения: 31.10.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.
3. Электронно-библиотечная система Znanium : URL: <https://znanium.ru> (дата обращения: 31.10.2024). - 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.

В дисциплине применяется также иммерсивный метод обучения с применением интерактивной VR-лаборатории «Термическая диффузия». VR-технология позволяет создать виртуальные двойники сложного оборудования, предоставляя студентам безопасную и доступную среду для изучения и отработки профессиональных навыков

Освоение дисциплины обеспечивается ресурсами, размещенными в электронной информационно-образовательной среде ОРИОКС <http://orioks.miet.ru>.

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

Для прохождения тестирования используется функционал Moodle.

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 практико-ориентированных заданий, 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
Учебная аудитория	мультимедийное оборудование	Операционная система Windows, Microsoft Office, браузер,
Компьютерный класс, аудитория №4116	Компьютер Raskat Station 930 (r9 7900X, B650, RAM 32Gb, SSD 1Tb, 16Gb A4000, 650W, NoOS) WR3/456 (+ клавиша и мышь)	Microsoft Office Professional Plus 2013 (п. 15. Реестра ПО). Корпоративная информационно-технологическая платформа ОРИОКС (п.88 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

ФОС по компетенции/подкомпетенции **ПК-1. ТПО** «Способен формулировать цели и задачи научных исследований термических процессов и оборудования, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач и делать обоснованные выводы».

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

Дисциплина включает в себя: лекции, лабораторные работы, самостоятельную работу студента (СРС) и контрольные мероприятия. Посещение лабораторных работ обязательно.

Модульное построение дисциплины предполагает последовательное изложение содержания модулей. Доступ к материалу следующего модуля не открывается, пока студент не освоит материал предыдущего. Освоение тем подтверждается сдачей контрольных работ и/или тестов по каждому модулю.

Основной СРС является большое практико-ориентированное задание (в нескольких частях), которое позволит студентам приобрести актуальные профессиональные компетенции в области исследования термических процессов и оборудования. Материал практико-ориентированного задания основан на опыте ведущих предприятий в области разработки термического оборудования. Более подробно – см. описание практико-ориентированного задания (ПОЗ).

Результаты, полученные в ходе выполнения лабораторных работ и контрольных мероприятий, выгружаются студентами в свои электронные портфолио через систему ОРИОКС.

По завершению изучения дисциплины предусмотрен экзамен, при этом оценка итогов учебной деятельности студента основана на балльно-рейтинговой системе.

Более подробно – см. методические указания студентам, которые выгружены в систему ОРИОКС по дисциплине.

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 82 баллов), сдача активность в семестре (в сумме до 8 баллов).

По завершению изучения дисциплины предусмотрен экзамен (10 баллов). Перечень контрольных мероприятий и методика их балльной оценки изложена в МУС.

По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету.

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 «Методы и средства исследования и оптимизации термических процессов и оборудования» по направлению подготовки 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств», направленности (профилю) «Технологическое оборудование для производства изделий микроэлектроники и микросистемной техники» разработана в Институте НМСТ и утверждена на заседании Ученого совета Института НМСТ 3 декабря 2024 года, протокол № 6.

Директор Института НМСТ

 / С.П.Тимошенко /

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

Начальник АНОК

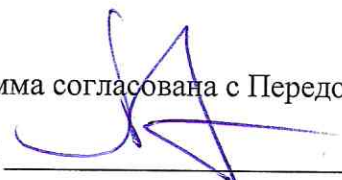
 / И.М.Никulina /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

/ Директор библиотеки  / Т.П.Филиппова /

Рабочая программа согласована с Передовой инженерной школой

Директор ПИШ

 / А.Л.Переверзев /