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:
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d76c8f8bae88358d602

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_ 202_4_ 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 указанию 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 указанию 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 указанию 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 указанию к выполнению практико-ориентированного задания (Часть 4).

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Родионов Ю.А. Технологические процессы в микро- и наноэлектронике : 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 наноэлектроники. 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 функионал 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 (+ клава 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.Тимошенков/

Лист согласования

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 /

Рабочая программа согласована с Передовой инженерной школой

Директор ПИШ _____/А.Л.Переверзев /