Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Гаврилов Сергей Александрович
Должность: И.О. Ректора
Дата подписания: 01.07.2025 15:06:14
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
«3» марта 2025 г.
М.П.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Конструирование и технология термоэлектрических приборов»

Направление подготовки – 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»
Направленность (профиль) – «Микроэлектроника и твердотельная электроника»

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат 00FCD5F6E07DC83F809D56CE1D350ACCD1
Владелец ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ"
Действителен с 09.04.2025 по 03.07.2026

Москва 2025 г.

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Компетенция ПК-1 «Способен формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач» **сформулирована на основе профессионального стандарта 40.058** «Инженер-технолог по производству изделий микроэлектроники».

Обобщенная трудовая функция 40.058 D[7] Разработка групповых технологических процессов и модернизация производства изделий микроэлектроники.

Трудовая функция 40.058 D/01.7 Анализ и выбор перспективных технологических процессов и оборудования производства изделий микроэлектроники.

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	**Задачи профессиональной деятельности**	**Индикаторы достижения подкомпетенций**
ПК-1.КТТП Способен обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные средства для получения термоэлектрических материалов.	Сбор, обработка, анализ и систематизация научно-технической информации по теме исследования, выбор методик и средств решения задачи.	**Знание:** - теоретических основ производства термоэлектрических материалов; - экспериментальных средств необходимых для получения термоэлектрических материалов. **Умение:** - реализует полученные знания при разработке технологических процессов с использованием теоретических и экспериментальных средств получения термоэлектрических материалов. **Опыт деятельности:** - участвует в разработке технологических процессов получения термоэлектрических материалов.

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:

Изучению модуля предшествует формирование компетенций бакалавриата в дисциплинах «Физика», «Химия», «Физическая химия», «Общее материаловедение», «Материалы электронной техники», «Полупроводниковые преобразователи энергии».

Формируемые в процессе изучения модуля компетенции в дальнейшем углубляются выполнением индивидуальных заданий НИР и практики и служат основой для выполнения выпускной квалификационной работы (ВКР).

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	3	108	-	-	32	76	ЗаО

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия		
1. Использование термоэлектрических эффектов для преобразования энергии. Структура термоэлектрических систем.	-	-	8	19	Рубежный контроль 1
2. Термоэлектрическая добротность материалов. Основные термоэлектрические материалы (ТЭМ). Технология получения ТЭМ.	-	-	8	19	Рубежный контроль 2
3. Термоэлектрический способ охлаждения. Конструкция термоэлемента, термоэлектрического модуля Пельтье и приборов на их основе.	-	-	8	19	Рубежный контроль 3

4. Приборы и оборудование, работающие на эффекте Зеебека. КПД термоэлектрических генераторов. Способы повышения эффективности ТЭГ.	-	-	8	19	Рубежный контроль 4 Защита индивидуального задания

4.1. Лекционные занятия

Не предусмотрены.

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Современное состояние термоэлектричества. Основные пути и проблемы повышения эффективности термоэлементов.
	2	2	Структура термоэлектрических систем. Эффект Пельтье. Зонная энергетическая диаграмма контакта металл-полупроводник.
	3	2	Эффект Зеебека. Причины возникновения термоЭДС. Вывод коэффициента термоЭДС из кинетического уравнения. Эффект Томсона. Эффект Джоуля – Ленца. Зависимость термоЭДС от температуры и концентрации носителей. Использование термоэлектрических эффектов для преобразования энергии.
	4	2	Использование термоэлектрических эффектов для преобразования энергии.
2	5	2	Физические основы выбора термоэлектрических материалов. Концентрационная зависимость термоэлектрических параметров.
	6	2	Термоэлектрическая добротность материалов. Основные термоэлектрические материалы (ТЭМ).
	7	2	Технологии синтеза ТЭМ с рабочими температурами от 200 до 1200 К. Прямой синтез. Индукционная плавка. Механохимический синтез.
	8	2	Технологии направленной кристаллизации ТЭМ. Зонная плавка. Экструзия. Холодное и горячее прессование. Бездиффузионная кристаллизация. Искровое плазменное спекание.
3	9	2	Термоэлектрический способ охлаждения. Применение, преимущества, недостатки и перспективы.
	10	2	Конструкция термоэлемента и термоэлектрического модуля Пельтье. Тепловой баланс термоэлемента. Режимы работы термоэлемента. Холодопроизводительность.
	11	2	Конструкция, свойства и технология коммутационных матриц

			термоэлектрических модулей. Металл – диэлектрические коммутационные матрицы. Технология сборки термоэлектрических модулей Пельтье. Технология герметизации термоэлектрических модулей. Тепло - и электрофизические параметры термоэлектрических модулей. Методики для исследования термоэлектрических модулей.
	12	2	Конструкция и технические характеристики термоэлектрического оборудования для прецизионного регулирования температуры. Конструкция и технические характеристики термоэлектрических устройств для обеспечения тепловых режимов вычислительной техники. Конструкция термоэлектрических модулей и устройств специального назначения. Термоэлектрические тепловые насосы. Параметры и конструкция источников постоянного тока для термоэлектрических устройств. Микропроцессорные системы регулирования и стабилизации температуры. Разработка и использование высокоточных средств измерения температуры для термоэлектрического оборудования.
4	13	2	Приборы и оборудование, работающие на эффекте Зеебека. Термоэлектрические генераторы (ТЭГ), основные элементы конструкции, классификация ТЭГ. КПД термоэлектрических генераторов. Способы повышения эффективности ТЭГ. Конструкция генераторного термоэлемента.
	14	2	Многосекционные термоэлементы (МСТ). Особенности конструкции МСТ. Моделирование конструкции МСТ. Контактные системы МСТ. Функции контактных систем (КС). Требования к КС. Влияние контактов металл-полупроводник на эффективность термоэлементов. Подготовка поверхности ТЭМ для формирования КС. Структура и материалы КС. Формирование контактов вакуумным напылением. Получение КС химическим осаждением металлов и сплавов на их основе. Получение КС электрохимическим осаждением металлов и сплавов на их основе. Получение КС с высокими значениями адгезионной прочности. Омические контакты, получение контактов с удельным контактным сопротивлением на уровне 10^{-9} Ом·м^2. Диффузионно-барьерные слои. Способы компенсации термических напряжений в структуре МСТ. Защитные покрытия для высокотемпературных термоэлементов. Коммутация секций и ветвей термоэлементов.
	15	2	Конструкция и проблемы создания генераторных термоэлектрических батарей. Перспективы применения ТЭГ. Безальтернативное применение ТЭГ. Радиоизотопные ТЭГ, конструкция, применение. Радиоизотопные термокаталитические ТЭГ.
	16	2	Методы и результаты исследования элементного и фазового состава ТЭМ. Методики исследования тепло- и электрофизических параметров ТЭМ. Методы исследования теплоемкости. Методы исследования термического коэффициента линейного расширения.

			Метод исследования плотности. Исследование микротвердости ТЭМ. Методы исследования термической стабильности ТЭМ и структур на их основе. Дифференциально-термический анализ. Метод термогравиметрии. Исследование концентрации и подвижности носителей заряда. Адгезия. Механизмы адгезии. Методы исследования адгезионной прочности. Методы исследования удельного сопротивления контактов и удельного сопротивления КС.

4.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены.

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	6	Подготовка к рубежному контролю 1 по пройденному материалу.
	8	Подготовка к практическим занятиям
	5	Выполнение индивидуального задания
2	3	Подготовка к рубежному контролю 2 по пройденному материалу.
	8	Подготовка к практическим занятиям
	8	Выполнение индивидуального задания
3	3	Подготовка к рубежному контролю 3 по пройденному материалу.
	8	Подготовка к практическим занятиям
	8	Выполнение индивидуального задания
4	3	Подготовка к рубежному контролю 4 по пройденному материалу.
	8	Выполнение индивидуального задания и подготовка к защите
	8	Подготовка к практическим занятиям

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

Модуль 1 Изучение теоретического материала для самостоятельной работы. Подготовка к практическим занятиям, подготовка к рубежному контролю по модулям осуществляется с помощью материалов семинаров по модулю №1, материалов для самостоятельной работы студентов.

Модуль 2 Изучение теоретического материала для самостоятельной работы. Подготовка к практическим занятиям, подготовка индивидуального задания, подготовка к

рубежному контролю по модулям осуществляется с помощью материалов семинаров по модулю №2, материалов для самостоятельной работы студентов

Модуль 3 Изучение теоретического материала для самостоятельной работы. Подготовка к практическим занятиям, подготовка индивидуального задания, подготовка к рубежному контролю по модулям осуществляется с помощью материалов семинаров по модулю №3, материалов для самостоятельной работы студентов.

Модуль 4 Изучение теоретического материала для самостоятельной работы. Подготовка к практическим занятиям, подготовка индивидуального задания, подготовка к рубежному контролю осуществляется с помощью материалов семинаров по модулю №4, материалов для самостоятельной работы студентов.

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников : учебник / К.В. Шалимова. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 384 с. - URL: https://e.lanbook.com/book/210524 (дата обращения: 09.07.2024). - ISBN 978-5-8114-0922-8

2. Горбацевич А.А. Физика полупроводников : Учеб. пособие / **А.А. Горбацевич,** М.Н. Журавлев ; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2017. - 136 с. - Имеется электронная версия издания. - ISBN 978-5-7256-0867-0

3. Шарков А.В. Экспериментальные методы исследований. Измерения теплофизических величин: Учеб. пособие / А.И. Походун, А.В. Шарков. - СПб. : СПбГУ ИТМО, 2006. - 87 с. - URL: http://books.ifmo.ru/book/210/_eksperimentalnye_metody.htm (дата обращения: 09.07.2024).

4. Штерн Ю.И. Термометрия : Учеб. пособие / Ю.И. Штерн, А.А. Шерченков, Р.Е. Миронов ; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2013. - 256 с. - ISBN 978-5-7256-0730-7.

6. Шерченков А.А. Материалы электронной техники: Лабораторный практикум: В 3-х ч. Ч. 3 / А.А. Шерченков, Ю.И. Штерн. - М.: МИЭТ, 2004. - 88 с.

7. Шерченко А.А. Физика и технология полупроводниковых преобразователей энергии: Учеб. пособие. Ч. 1 / А.А. Шерченков, Ю.И. Штерн. - М. : МИЭТ, 2006. - 164 с.

8. Шерченков А.А. Физика и технология полупроводниковых преобразователей энергии: Учеб. пособие. Ч. 2 / А.А. Шерченков, Б.Г. Будагян. - М.: МИЭТ, 2007. - 280 с.

9. Сорокин В.С. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики : учебник / В.С. Сорокин, Б.Л. Антипов, Н.П. Лазарева. - 2-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2022. - 448 с. - URL: https://e.lanbook.com/book/212135 (дата обращения: 09.07.2024). - ISBN 978-5-8114-2003-2

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ **БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ**

1. **eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека**: сайт. – Москва, 2000. – URL: https://elibrary.ru(дата обращения: 20.02.2025). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

2. **Электронные ресурсы Российской государственной библиотеки**: сайт. – Москва, 1999-2020. – URL: http://www.rsl.ru (дата обращения: 20.02.2025).

3. **База American Chemical Society (ACS):** Некоммерческое научное издательство. – Американское химическое общество, 2021. – URL: http://pubs.acs.org (дата обращения: 20.02.2025). – Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.

4. **Электронная версия базы данных ECS издательства Electrochemical Society**: Научное издательство IOP Publishing, 2021. – URL: https://iopscience.iop.org/partner/ecs (дата обращения: 20.02.2025). - Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ

5. **Springer**: сайт. – URL:http://link.springer.com (дата обращения: 20.02.2025). - Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.

6. **Электронно-библиотечная система издательства «Лань»**: сайт. – URL: https://e.lanbook.com/ (дата обращения 15.02.2025). – Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.

7. **Учебные издания НИУ ИТМО**: сайт. – URL: http://books.ifmo.ru/ (дата обращения 15.02.2025).

8. **Научно-образовательный портал Znanium**: сайт. – URL: https://znanium.ru/ (дата обращения 15.02.2025).– Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.

9. **Электронно-библиотечная система BOOK.ru**: сайт. – URL: https://book.ru/ (дата обращения 15.02.2025). – Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.

10. **Электронно-библиотечная система РУКОНТ**: сайт. – URL: https://lib.rucont.ru/search (дата обращения 15.02.2025). – Режим доступа: для авторизованных 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).

Применяется модель обучения, предполагающая обязательное присутствие студентов на очных учебных занятиях и самостоятельное выполнение индивидуальных практико-ориентированных заданий с проверкой, обсуждением, доработкой и подведением итогов как на очных учебных занятиях, так с использованием онлайн-ресурсов и сервисов.

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС (http://orioks.miet.ru).

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

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория № 4134	Компьютер, проекционная	ОС Microsoft Win-

«Лаборатория НИРС»	установка VIEWSONIC PRO-8500.	dows, MS Office
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	ОС Microsoft Windows, MS Office, Браузер

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции ПК-1.КТТП «Способен обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные средства для получения термоэлектрических материалов».

Фонд оценочных средств представлен отдельным документом и размещен 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 «Конструирование и технология термоэлектрических приборов» состоит из четырех модулей. В первом модуле рассматриваются требования к термоэлектрическим материалам, методы исследования электрофизических параметров материалов, тепловой баланс идеального термоэлемента. Во втором модуле рассматриваются приборы, работающие на эффекте Зеебека, перспективы и проблемы их применения, как альтернативных источников энергии. Третий модуль посвящен приборам и термоэлектрическим системам, предназначенным для охлаждения и регулирования, в том числе прецизионного, температуры в основном изделий электронной техники. В четвертом модуле рассматриваются конструкционные особенности приборов Пельтье и Зеебека, основные технологические операции их изготовления. Рассматриваются перспективные направления повышения эффективности термоэлектрических приборов и технологические проблемы совершенствования этих приборов.

Студенты должны осуществлять поиск дополнительной информации по темам семинаров в научных источниках с последующим обсуждением результатов поиска с преподавателем и одногруппниками.

Выполнение индивидуального задания на СРС предполагает формирование у обучающихся подкомпетенций по индикаторам умений и приобретения опыта деятельности. Оно включает в себя изучение термоэлектрических материалов и методов их исследования, конструкции термоэлектрических устройств. Контроль выполнения студентами индивидуального задания проводится на семинарах. Студенты выступают с

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система,

Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре и итоговая аттестация (в сумме - 100 баллов).

Для сдачи зачёта с оценкой по дисциплине разработан ФОС, включающие практико-ориентированное задание по проверке сформированности подкомпетенций с методическими указаниями по их выполнению и критериями оценки.

Структура и график контрольных мероприятий приведены в журнале успеваемости на ОРИОКС (http://orioks.miet.ru/).

При выставлении итоговой оценки используется шкала, приведенная в таблице:

Сумма баллов	Оценка
Менее 50	2
50 – 69	3
70 – 85	4
86 – 100	5

РАЗРАБОТЧИК:

Профессор Института ПМТ, д.т.н., доц. _____ Ю.И. Штерн

Рабочая программа дисциплины «Конструирование и технология термоэлектрических приборов», по направлению подготовки – 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника», направленность (профиль) – «Микроэлектроника и твердотельная электроника» разработана в Институте перспективных материалов и технологий и утверждена на заседании Ученого совета Института ПМТ 28 февраля 2025 года, протокол № 18.

Директор Института ПМТ _____/ С.В.Дубков /

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 /