Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Гаврилов Сергей Александрович
Должность: И.О. Ректора
Дата подписания: 01.07.2025 11:02:40
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
«20» декабря 2024 г.
М.П.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Процессы микро- и нанотехнологии»

Направление подготовки - 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»
Направленность (профиль) - «Технологии материалов микроэлектроники»

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 2024

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Компетенция ПК-1 «Способен разрабатывать и обосновывать модернизацию технологических линий, процессов измерений параметров и модификации свойств» сформулирована на основе профессионального стандарта**40.104**«Специалист по измерению параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур»

Обобщенная трудовая функция - С [6] Совершенствование процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур

Трудовая функция- С/02.6 Модернизация существующих и внедрение новых процессов и оборудования для модификации свойств наноматериалов и наноструктур

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	**Задачи профессиональной деятельности**	**Индикаторы достижения подкомпетенций**
ПК-1.ПМНТ Способен осуществлять выбор этапов технологических процессов для производства и обработки материалов и структур на их основе	*Научно-исследовательский тип задач:* Разработка и обоснование технических требований к модернизации технологических линий	**Знание** основных технологических операций и параметров их реализации **Умение** производить расчет параметров основных технологических операций **Опыт** разработки технологии получения материалов электронной техники и приборных структур на их основе

Компетенция ПК-4 «Способен осуществлять научно-техническое и методическое сопровождение в производстве полупроводниковых приборов и систем с использованием нанотехнологий» сформулирована на основе профессионального стандарта **26.006** «Специалист по разработке наноструктурированных композиционных материалов»

Обобщенная трудовая функция - В [6] Научно-техническая разработка и методическое сопровождение в области создания наноструктурированных композиционных материалов

Трудовая функция- В/05.6 Аналитическое и документационное сопровождение внедрения наноструктурированных композиционных материалов с заданными свойствами

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	**Задачи профессиональной деятельности**	**Индикаторы достижения подкомпетенций**
ПК-4. ПМНТ Способен использовать и	*Технологический тип задач:*	**Знание** основных технологических операций и параметров их реализации **Умение** производить расчет параметров

корректировать документацию по методическому сопровождению технологических процессов	Научно-техническая разработка и методическое сопровождение в области создания наноструктурированных композиционных материалов	основных технологических операций **Опыт использования и корректировки** документации по методическому сопровождению технологических процессов

Компетенция ПК-5 «Способен разрабатывать, внедрять новые и вырабатывать рекомендаций по корректировке существующих технологических процессов выпуска изделий микро- и наноэлектроники» сформулирована на основе профессионального стандарта **40.058** «Инженер-технолог по производству изделий микроэлектроники»

Обобщенная трудовая функция - В[6] Разработка единичных технологических процессов и рекомендаций по устранению и предупреждению брака в производстве изделий микроэлектроники

Трудовая функция - В/02.6 Разработка единичных технологических процессов изготовления изделий микроэлектроники

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	**Задачи профессиональной деятельности**	**Индикаторы достижения подкомпетенций**
ПК-5. ПМНТ Способен осуществлять выбор этапов технологических процессов для производства и обработки покрытий и материалов	*Технологический тип задач:* Разработка, внедрение новых и выработка рекомендаций по корректировке существующих технологических процессов выпуска изделий микроэлектроники	**Знание** основных технологических операций и параметров их реализации **Умение** производить расчет параметров основных технологических операций **Опыт разработки** этапов технологических процессов для производства и обработки наноматериалов и приборных структур на их основе

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 в дисциплинах «Химия», «Физика», «Кристаллография», «Физико-химические основы технологии интегральных микро- и наноструктур».

Формируемые в процессе изучения модуля компетенции в дальнейшем углубляются изучением модулей «Технология и материалы сенсорной и актюаторной техники», выполнением индивидуального задания 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)	В том числе - Практическая подготовка при выполнении курсовой работы (проекта) (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы)	Практические занятия (часы)			
3	6	4	144	16	16	32	80	32	ЗаО, КП

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	В том числе - Практическая подготовка при выполнении курсовой работы (проекта) (часы)	Формы текущего контроля
	Лекции	Практические занятия	Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы)			
1. Основы технологии создания кремниевых ИС	8	28	8	40	12	Тестирование 1
						Контроль выполнения домашнего задания 1
						Защита лабораторных работ 1 и 2
						Контроль выполнение курсового проекта (часть 1)

2. Основы технологии создания ИС на арсениде галлия	4	-	-	16	10	Контроль выполнения домашнего задания 2
						Контроль выполнение курсового проекта (часть 2)
3. Наноструктуры, область их применения и методы получения	4	4	8	24	10	Защита лабораторных работ 3 и 4
						Контроль выполнение курсового проекта (часть 3)

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Общие закономерности технологии производства компонентов электронной техники. Последовательность технологических процессов и организация технологических маршрутов.
	2	2	Технология кремниевых биполярных ИС. Конструктивно-технологический базис биполярных ИС. Основные этапы формирования структуры элементов биполярных ИС. Основные этапы формирования структуры элементов биполярных ИС. Биполярные транзисторы на гетеропереходах.
	3	2	Технология кремниевых МОП ИС. Масштабирование в технологии изготовления МДП ИС. Варианты технологического процесса производства p-МОП ИС. Варианты технологического процесса производства n-МОП ИС. Основные этапы формирования структуры элементов n-МОП и КМОП-структуры. Варианты технологического процесса производства КМОП-структур. Основные этапы технологического процесса формирования элементов n-МОП и КМОП ИС. БиКМОП-технология.
	4	2	Методы изоляции электронных компонентов в технологии ИС. Технология изоляции электронных компонентов посредством обратно смещенного p-n перехода. Маршруты изготовления ИС с полной диэлектрической изоляцией. Методы создания комбинированной изоляции электронных компонентов в технологии ИС.
2	5	2	Интегральные схемы на арсениде галлия. Ограничения, накладываемые границами раздела на архитектуру и технологию полевых транзисторов на арсениде галлия. Варианты

			технологического процесса производства ИС на арсениде галлия.
	6	2	Основные этапы формирования структуры элементов арсенидгаллиевых ИС. Интегральные схемы СВЧ диапазона. Цифровые интегральные схемы. Структуры ИС на полевых транзисторах с барьером Шотки.
3	7	2	Наноструктуры, область их применения, методы получения и материалы. Туннельные сверхпроводящие структуры реализующие эффект Джозефсона, область применения, конструкция и процессы их формирования.
	8	2	Элементы СБИС на квантовых эффектах. Тунельные транзисторы, транзисторы с резонансным туннелированием, спиновые транзисторы, одноэлектронные транзисторы, элементы квантовых компьютеров.

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Принцип работы БПТ и их основные характеристики.
	2	2	Выбор примеси для создания скрытого слоя. Основные требования к скрытому слою. Технология создания скрытого слоя..
	3	2	Основные требования к области базы БПТ. Технология создания области базы БПТ. Транзисторы с дрейфовой и бездрейфовой базой.
	4	2	Основные требования к области эмиттера БПТ. Технология создания области эмиттера БПТ.
	5	2	Основные требования к изоляции электронных компонентов. Классификация методов изоляции элементов в технологии микроэлектроники.
	6	2	Технология изоляции электронных компонентов посредством обратно смещенного p-n перехода. Оценка изолирующих свойств обратно смещенного p-n перехода.
	7	2	Технология изоляции электронных компонентов с помощью полной диэлектрической изоляции. Методы полной диэлектрической изоляции.
	8	2	Комбинированная изоляция электронных компонентов в технологии ИС, методы создания комбинированной изоляции.
	9	2	Принцип работы полевого транзистора и классификация МОП транзисторов. Основные характеристики МОП транзистора. Связь основных характеристик МОП – транзистора с конструктивно-технологическими параметрами.

	10	2	Технология изготовления МОП транзистора с алюминиевым затвором.
	11	2	Технология изготовления МОП транзистора с поликремневым и полицидным затвором.
	12	2	Паразитные элементы в МОП ИС и способы уменьшения их влияния на работу ИС.
	13	2	Конструктивно-технологические особенности технологии КМОП структур.
	14	2	Способы изоляции элементов в технологии производства МОП и КМОП ИС.
3	15	2	Масштабирование в технологии ИС.
	16	2	Семинар-конференция «Защита Курсовых проектных работ»

4.3. Практическая подготовка при проведении лабораторных работ

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
1	1	4	Методы создания комбинированной изоляции электронных компонентов в технологии ИС. Технология эпипланар и изопланар.
	2	4	Методы создания комбинированной изоляции электронных компонентов в технологии ИС. Технология локос и STI.
3	3	4	Исследование процессов самоформирования микро- и наноструктур.
	4	4	Исследование электрохимического метода формирования наноструктур пористого кремния.

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	12	Проработка теоретического материала (Лекции 1 - 4)
	5	Подготовка к лабораторным работам 1 и 2
	5	Подготовка к защите лабораторных работ 1 и 2
	2	Выполнение домашнего задания 1
	12	**Практическая подготовка** Выполнение курсового проекта (часть 1)
	4	Подготовка к тестированию 1
2	4	Проработка теоретического материала (Лекции 5 - 6)
	2	Выполнение домашнего задания 2

	10	**Практическая подготовка** Выполнение курсового проекта (часть 2)
3	4	Проработка теоретического материала (Лекции 7 - 8)
	5	Подготовка к лабораторным работам3 и 4
	5	Подготовка к защите лабораторных работ 3 и 4
	10	**Практическая подготовка** Выполнение и подготовка к защите курсового проекта (часть 3)

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

1. Разработка технологического маршрута изготовления логической схемы И-НЕ на базе комплементарных МОП-транзисторов
2. Разработка технологического маршрута изготовления логической схемы И-НЕ на базе биполярных транзисторов

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

Модули 1-3

✓ *Методические указания для студентов по организации самостоятельной работы по дисциплине: «Процессы микро- и нанотехнологии»*

✓ *Задания к лабораторным работам*

✓ *Теоретические материалы*

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Громов Д.Г. Металлизация ультрабольших интегральных схем : Учеб. пособие / Д.Г. Громов, А.И. Мочалов, А.Д. Сулимин, В.И. Шевяков; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - 3-е изд., электронное. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 277 с. - URL: https://e.lanbook.com/book/66285 (дата обращения: 20.09.2024).
2. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий [Текст] : В 2-х т. : [Учеб. пособие для вузов]. Т. 2 : Технологические аспекты / М.В. Акуленок [и др.]; Под общ. ред. Ю.Н. Коркишко. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. - 256 с. - (Нанотехнологии).

7. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»

1. **Лань: электронно-библиотечная система.** – Санкт-Петербург, 2011. – URL: https://e.lanbook.com/(дата обращения: 21.09.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.

2. **eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека**: сайт. – Москва, 2000. – URL: https://elibrary.ru(дата обращения: 11.09.2024). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
3. **РУКОНТ** : Национальный цифровой ресурс : Электронно-библиотечная система : сайт. - Москва :Сколково, 2010 - . - URL: https://lib.rucont.ru/search (дата обращения: 20.09.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.
4. **SCOPUS: Библиографическая и реферативная база данных научной периодики**: сайт. – URL: www.scopus.com/ (дата обращения: 20.09.2024). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.
5. **«Google Scholar»:** сайт. – США, 2004: - URL https://scholar.google.ru. – (дата обращения: 10.01.2024). – Режим доступа: свободный.

8. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В ходе реализации обучения используется **смешанное обучение (**реализовывается с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий**).**

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 4309б «Лаборатория тонкопленочной технологии»	Установка термического распыления материалов УВТ-3279011, установка магнетронного распыления материалов в вакууме УВН-71М, универсальная вакуумная установка ионно-плазменного распыления материалов УРМ-3279014, установка вакуумного напыления УВМ-3279, лабораторный комплекс по получению и исследованию тонких пленок, термокамера лабораторная универсальная с программным управлением ТУ-2э, универсальный термостат УТ-60, проекционная установка LP-350, демонстрационный стенд с матрицей	Не требуется
Учебная аудитория	Проекционная установка Мультимедийный комплекс Компьютер, принтер	ОС Windows Microsoft Office браузер

Учебная аудитория	Учебная доска	Не требуется
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 Acrobat reader DC

10.ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции **ПК-1.ПМНТ**«Способен осуществлять выбор этапов технологических процессов для производства и обработки материалов и структур на их основе»

ФОС по подкомпетенции **ПК-4.ПМНТ** «Способен использовать и корректировать документацию по методическому сопровождению технологических процессов».

ФОС по подкомпетенции **ПК-5.ПМНТ** «Способен осуществлять выбор этапов технологических процессов для производства и обработки покрытий и материалов».

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

Содержание дисциплины разбито на 3 модуля. Каждый модуль является логически завершенной частью курса. Успешность освоения каждого модуля оценивается по результатам выполнения обязательных контрольных мероприятий.

В процессе освоения дисциплины студенты самостоятельно готовят и выполняют предусмотренные контрольные мероприятия, направленные на проверку усвоения необходимых знаний – в форме тестирование; на проверку умений – в форме защиты лабораторных работ, на проверку опыта деятельности – в форме проверки домашних заданий и защиты (представления) курсового проекта, результат выполнения которых отражается в накопительной балльной системе.

Качество самостоятельной работы студентов проверяется на каждом практическом занятии и в процессе выполнения курсового проекта, на которых отрабатываются и проверяются способности студента публично презентовать материалы выполнения СРС, вести дискуссию, приводить аргументы, логично и последовательно излагать свою точку зрения, демонстрируя понятийное и критическое мышление.

Курсовой проект выполняется самостоятельно в рамках отведенного времени на СРС. При подготовке к его выполнению студент должен продемонстрировать знания, умения и опыт деятельности, включающие поиск необходимой и дополнительной информации по темам практических занятий в научных источниках (рекомендованных

ПБД и ИСС, а также найденных самостоятельно), анализ и обобщение современного состояния проблемы, выбор методов и технологий для достижения планируемого результата, способность применять знания и умения для построения моделей и продемонстрировать опыт использования современных программных средств. Результаты выполнения курсового проекта представляются публично (в краткой форме в течение 10-15 минут) на практических занятиях и обсуждаются с преподавателем и одногруппниками.

Наиболее сложные и проблемные вопросы курса могут быть разъяснены обучающимся во время очных и дистанционных консультаций с использованием современных коммуникационных платформ и электронной почты.

11.2. Система контроля и оценивания

По завершению изучения дисциплины предусмотрен ***зачёт с оценкой***, при этом оценка итогов учебной деятельности студента основана на накопительно-балльной системе. Баллами оцениваются выполнение контрольных мероприятий, активность на практических занятиях, посещаемость.

По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступен в ОРИОКС// URL: 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:

Доцент Института ПМТ
к.т.н., _____ /Е.Н. Редичев/

Рабочая программа дисциплины «Процессы микро- и нанотехнологии» по направлению подготовки – 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» направленности (профилю) «Технологии материалов микроэлектроники» разработана в Институте ПМТ и утверждена на заседании Ученого совета Института ПМТ 19 декабря 2024 года, протокол № 16

Директор Института ПМТ _____ /С.В.Дубков/

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/