

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Беспалов Владимир Александрович  
Должность: Ректор МИЭТ  
Дата подписания: 01.09.2023 15:40:16  
Уникальный программный ключ:  
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736

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  
И.Г. Игнатова  
« 2 » сентября 2020г.  
М.П.



## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### «Процессы микро- и нанотехнологии»

Направление подготовки – 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»  
Направленность (профиль) – «Технологии материалов и наноструктур»

## 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
<b>ПК-1.ПМНТ</b> Способен осуществлять выбор этапов технологических процессов для производства и обработки материалов и структур на их основе	<i>Научно-исследовательский тип задач:</i> Разработка и обоснование технических требований к модернизации технологических линий	<b>Знание</b> основных технологических операций и параметров их реализации <b>Умение</b> производить расчет параметров основных технологических операций <b>Опыт</b> 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
<b>ПК-4. ПМНТ</b>	<i>Технологический тип задач:</i>	<b>Знание</b> основных технологических операций и параметров их реализации

Способен использовать и корректировать документацию по методическому сопровождению технологических процессов	Научно-техническая разработка и методическое сопровождение в области создания наноструктурированных композиционных материалов	<b>Умение</b> производить расчет параметров основных технологических операций <b>Опыт использования и корректировки</b> документации по методическому сопровождению технологических процессов
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Компетенция ПК-5** «Способен разрабатывать, внедрять новые и выработать рекомендаций по корректировке существующих технологических процессов выпуска изделий микро- и нанoeлектроники» 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
<b>ПК-5. ПМНТ</b> Способен осуществлять выбор этапов технологических процессов для производства и обработки покрытий и материалов	<i>Технологический тип задач:</i> Разработка, внедрение новых и выработка рекомендаций по корректировке существующих технологических процессов выпуска изделий микроэлектроники	<b>Знание</b> основных технологических операций и параметров их реализации <b>Умение</b> производить расчет параметров основных технологических операций <b>Опыт разработки</b> 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 (является элективной).

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	21	ЗаО, КП

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная 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)	Самостоятельная работа			
1. Основы технологии создания кремниевых ИС	8	28	8	40	7		Тестирование 1
							Выполнение 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	7	Выполнение домашнего задания 2
						Контроль выполнение курсового проекта (часть 2)
3. Наноструктуры, область их применения и методы получения	4	4	8	24	7	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 обратного 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. Туннельные 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 р-п перехода. Оценка изолирующих свойств обратно смещенного р-п 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 эпитанар 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
	7	Выполнение домашнего задания 1
	7	<b>Практическая подготовка</b> Выполнение курсового проекта (часть 1)
	4	Подготовка к тестированию 1
2	4	Проработка теоретического материала (Лекции 5 - 6)
	5	Выполнение домашнего задания 2

	7	<b>Практическая подготовка</b> Выполнение курсового проекта (часть 2)
3	5	Проработка теоретического материала (Лекции 7 - 8)
	6	Подготовка к лабораторным работам 3 и 4
	6	Подготовка к защите лабораторных работ 3 и 4
	7	<b>Практическая подготовка</b> 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/>):

##### Модули 1-3

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

#### 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: 20.09.2020).
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: 21.09.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.
2. **eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека: сайт.** – Москва, 2000. – URL: <https://elibrary.ru>(дата обращения: 11.09.2020). – 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: 20.09.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.
4. **SCOPUS: Библиографическая и реферативная база данных научной периодики:** сайт. – URL: [www.scopus.com/](http://www.scopus.com/)(дата обращения: 20.09.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.
5. **«Google Scholar»:** сайт. – США, 2004: - URL <https://scholar.google.ru>. – (дата обращения: 10.01.2020). – 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 43096 «Лабораторный практикум по 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	Помещение, оснащенное компьютерной	ОС Microsoft Window

самостоятельной работы	техникой, с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	s 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 тестирования; 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 и наноструктур» разработана в Институте ПМТ и утверждена на заседании Ученого совета Института ПМТ 30 сентября 2020 года, протокол № 39.


Зам. директора Института  
к.т.н., доцент

  
\_\_\_\_\_/А.В. Железнякова/

### 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/