

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Гаврилов Сергей Александрович
Должность: Ректор
Дата подписания: 08.09.2026 12:45:44
Уникальный программный ключ:
488ddcd30399efca200d034e027f45455f6eb1b9

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

2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Технологии электроники субмикронных размеров»

Направление подготовки - 28.04.03 «Нanomатериалы»

Направленность (профиль) - «Синхротронное излучение в технологии наноматериалов»

Москва 2023

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ

Компетенция ПК-1. «Способен проводить экспериментальные исследования, участвовать в разработке современных технологических маршрутов и процессов с использованием синхротронного излучения» **сформулирована на основе профессионального стандарта 40.008** «Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами»

Обобщенная трудовая функция С[7] Осуществление технического руководства проектно-изыскательскими работами при проектировании объектов, ввод в действие и освоение проектных мощностей

Трудовая функция С/01.7 Организация выполнения научно-исследовательских работ в соответствии с тематическим планом отдела (отделения)

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-1. ТЭСР Способен аргументировано выбирать методы экспериментальных исследований и современные технологические маршруты и процессы при создании объектов электроники субмикронных размеров	– Исследование свойств наноматериалов и изделий на их основе с помощью современных методов анализа – Самостоятельное планирование, систематизация и анализ результатов научно-исследовательской работы	Знание основных методов и механизмов формирования тонких пленок Умение рассчитать константы химических реакций в зависимости от параметров технологического процесса Опыт анализа влияния параметров технологического процесса на формирование тонких пленок

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы. Для изучения дисциплины «Технологии электроники субмикронных размеров» магистрант должен владеть знаниями, умениями и навыками, приобретенными студентами при изучении специальных дисциплин бакалавриата. Формируемые в процессе изучения дисциплины компетенции в дальнейшем углубляются в дисциплинах «Испытания ЭКБ с использованием синхротронного излучения», «Синхротронное излучение в решении медико- биологических и фармацевтических задач», «Синхротронное излучение в технологии наноматериалов и наноэлектроники», на практике 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)		
1	1	3	108	16	-	16	76	ЗаО

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
1. Введение в микро- и нанотехнологии	2	-	0	6	Опрос
2. Фотолитография	2	-	4	10	Опрос
3. Методы формирования тонких пленок	6	-	6	24	Тестирование
					Контрольная работа
4. Подготовка и обработка подложек	2	-	2	10	Опрос
5. Методы и процессы травления подложек	2	-	2	10	Опрос
6. Диффузия примесей и ионное легирование полупроводников	2	-	0	6	Опрос
7. Процессы пайки и сварки в технологии микро- и нанoeлектроники	0	-	2	10	Защита практико-ориентированного задания

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Предмет, цель и задачи курса. Пути развития интегральных микро- и нанотехнологий. Закон Мура. Технологические проектные нормы. Общая классификация физико-химических процессов технологии микроэлектроники
2	2	2	Основные операции фотолитографического процесса. Подготовка поверхности подложки. Нанесение пленки фоторезиста. Сушка фоторезиста. Совмещение и экспонирование. Проявление рисунка. Промывка, сушка. Задубливание. Удаление фоторезиста, химическая очистка поверхности.
3	3	2	Процессы формирования слоев в технологии электронной компонентной базы. Существующие представления о механизмах зародышеобразования и роста новой фазы. Теории роста кристаллов. Эпитаксия. Феноменологические гипотезы эпитаксии. Классификация методов эпитаксии.
	4	2	Гетероэпитаксия кремния на сапфире: гидридный процесс эпитаксии кремния. Газофазная и жидкофазная эпитаксия полупроводниковых соединений (на примере $A^{III}B^V$). Молекулярно-лучевая эпитаксия.
	5	2	Катодное, триодное и магнетронное нанесение тонких пленок металлов, сплавов и соединений. Реактивное ионно-плазменное распыление. Другие методы ионно-плазменного нанесения.
4	6	2	Механическое удаление вещества. Механизм процессов резки, шлифовки и полировки пластин кремния. Основные закономерности процессов. Оценка качества подложек. Шероховатость поверхности. Нарушенный слой.
5	7	2	Классификация процессов сухого травления. Разрешение, анизотропия, селективность, равномерность процессов травления. Особенности переноса изображения с маски на рабочий материал при ионном травлении.

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
6	8	2	Процессы перераспределения вещества. Механизмы диффузии. Основные законы диффузии. Диффузия примесей в кремнии. Особенности термодиффузионных процессов. Ионное легирование полупроводников. Модель Линхарда-Шарфа-Шиотта. Классификация технологического оборудования для ионной имплантации.

4.2. Лабораторные занятия

Не предусмотрены

4.3. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ занятия	Объем занятий (часы)	Наименование работы
2	1	2	Физико-химические основы процессов фотолитографии в технологии микро- и нанoeлектроники. Классификация литографических процессов. Негативная и позитивная, прямая и обратная фотолитографии. Фоторезисты.
	2	2	Характеристики фоторезистов. Фоторезисты с химическим усилением. Особенности переноса изображения в нанометровой области размеров элементов. ЭУФ-фотолитография и рентгенолитография. Использование синхротронного излучения.
3	3	2	Физико-химические основы автоэпитаксии кремния. Термодинамический анализ системы Si-H-Cl. Кинетика и механизм кристаллизации эпитаксиальных слоев кремния в хлоридном процессе. Аппаратное оформление автоэпитаксии кремния.
	4	2	Вакуум-термическое испарение и конденсация. Зависимость свойств тонких пленок от условий нанесения. Зародышевый и слоевой рост тонких пленок. Резистивный и электронно-лучевой

№ модуля дисциплины	№ занятия	Объем занятий (часы)	Наименование работы
			методы нанесения тонких пленок металлов, сплавов и соединений. Ионно-плазменное распыление. Структура тлеющего разряда.
	5	2	Диэлектрические пленки в технологии микроэлектроники. Классификация методов. Механизм и кинетика термического окисления кремния. Строение и свойства SiO ₂ . Особенности методов газофазного осаждения SiO ₂ . Химические и электрохимические методы нанесения металлических и диэлектрических пленок из растворов.
4	6	2	Пути попадания загрязнений на поверхность подложки. Изотермы адсорбции. Классификация основных видов загрязнений. Технологические процессы очистки поверхности подложки.
5	7	2	Номенклатура рабочих газов. Плазмохимическое и ионно-химическое травление. Оборудование для ионно-лучевого травления. Процессы сухого травления высокоплотной плазмой. ITR и ICP реакторы.
7	8	2	Процессы пайки и сварки в технологии микро- и нанoeлектроники. Характер и проблемы межфазного взаимодействия в процессах пайки и сварки в технологии микроэлектроники.

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	4	Проработка материалов лекции 1
	2	Подготовка к опросу
2	4	Проработка материалов лекции 2
	4	Проработка материалов семинаров 1-2
	2	Подготовка к опросу

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
3	8	Проработка материалов лекций 3-5
	8	Проработка материалов семинаров 3-5
	4	Подготовка к тестированию
	4	Подготовка к контрольной работе
4	4	Проработка материалов лекции 6
	4	Проработка материалов семинара 6
	2	Подготовка к опросу
5	4	Проработка материалов лекции 7
	4	Проработка материалов семинара 7
	2	Подготовка к опросу
6	4	Проработка материалов лекции 8
	2	Подготовка к опросу
7	4	Проработка материалов семинара 8
	6	Выполнение индивидуального задания и подготовка к его защите

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/>):

Модуль 1 «Введение в микро- и нанотехнологии»

- ✓ Краткие теоретические сведения
- ✓ Методические указания по подготовке к опросу

Модуль 2 «Фотолитография»

- ✓ Краткие теоретические сведения
- ✓ Методические указания по подготовке к опросу

Модуль 3 «Методы формирования тонких пленок»

- ✓ Краткие теоретические сведения
- ✓ Методические указания по подготовке к практическим работам
- ✓ Методические указания по подготовке к опросу

Модуль 4 «Подготовка и обработка подложек»

- ✓ Краткие теоретические сведения
- ✓ Методические указания по подготовке к опросу

Модуль 5 «Методы и процессы травления подложек»

- ✓ Краткие теоретические сведения
- ✓ Методические указания по подготовке к опросу
- ✓ Методические указания по подготовке к практическим работам

Модуль 6 «Диффузия примесей и ионное легирование полупроводников»

- ✓ Краткие теоретические сведения
- ✓ Методические указания по подготовке к опросу

Модуль 7 «Процессы пайки и сварки в технологии микроэлектроники»

- ✓ Краткие теоретические сведения
- ✓ Методические указания по подготовке к практическим работам
- ✓ Методические указания по выполнению индивидуальных заданий

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий : В 2-х т. : [Учеб. пособие для вузов]. Т. 2 : Технологические аспекты / М.В. Акуленок, В.М. Андреев, Д.Г. Громов [и др.] ; Под общ. ред. Ю.Н. Коркишко. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. - 256 с. - ISBN 978-5-9963-0336-6; 978-5-9963-0341-0

2. Голишников, А. А. Основы технологии электронной компонентной базы : учебное пособие / А. А. Голишников, И. В. Сагунова, В. И. Шевяков ; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - Москва : МИЭТ, 2022. - 268 с. - ISBN 978-5-7256-0991-2

3. Агеев О.А. Методы формирования структур элементов наноэлектроники и наносистемной техники : Учеб. пособие / О.А. Агеев, А.А. Федотов, В.А. Смирнов. - Таганрог : ТТИ ЮФУ, 2010. - 72 с. - URL : (дата обращения: 13.06.2023)

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека: сайт. – Москва, 2000. – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 22.06.2023). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Обучение может реализовываться с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС.

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	Мультимедийное оборудование	ОС Microsoft Windows, MS Office, Internet Explorer / Chrome
Помещение для самостоятельной работы обучающихся	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в ОРИОКС	ОС Microsoft Windows, MS Office, Internet Explorer / Chrome

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции **ПК-1. ТЭСР** Способен аргументировано выбирать методы экспериментальных исследований и современные технологические маршруты и процессы при создании объектов электроники субмикронных размеров

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 «Технологии электроники субмикронных размеров» состоит из 7 модулей. Первый модуль дает представление об пути развития интегральных микро- и нанотехнологий. Во втором модуле рассматривается применение фотолитографии и основные операции фотолитографического процесса. Третий модуль посвящен изучению основных методов формирования тонких пленок. Четвертый модуль дает представление о подготовке и обработке подложек. В пятом модуле рассматриваются методы и процессы травления подложек. Шестой модуль посвящен диффузии примесей и ионного легирования полупроводников. Седьмой модуль – процесс пайки и сварки в технологии микро- и нанoeлектроники. Каждый модуль является логически завершенной частью курса. Успешность освоения каждого модуля оценивается по результатам выполнения обязательных контрольных мероприятий.

Для закрепления знаний, полученных на лекционных и практических занятиях и при выполнении самостоятельной работы, а также для получения навыков исследовательской

деятельности, проводятся опросы. Такие опросы проводятся, как правило, в интерактивном режиме при работе группы в диалоге с преподавателем с разбором конкретных примеров.

Подготовка и выполнение индивидуальных практических и практико-ориентированных заданий предполагает формирование у обучающихся компетенций и подкомпетенций по индикаторам умений и приобретения опыта деятельности. Данные контрольные мероприятия подразумевают самостоятельную работу обучающихся по получению, обработке, анализу и визуализации информации о современных методах экспериментальных исследований, технологических маршрутах и процессов при создании объектов электроники субмикронных размеров.

Контроль выполнения студентами индивидуального задания проводится на семинарах. Студенты выступают с докладом, излагая содержание проделанной работы, анализируя различные аспекты освещаемой проблемы, происходит обсуждение информации в формате научной дискуссии. Студенты должны осуществить поиск дополнительной информации по темам семинаров в научных источниках (рекомендованных ПБД и ИСС) с последующим обсуждением результатов поиска с преподавателем и одногруппниками. В процессе выполнения практических (индивидуальных) заданий также 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.

Подготовкой материалов для итоговой аттестации необходимо начать заниматься с первых дней семестра, не уклоняться от активного участия в активных видах занятий.

Наиболее сложные и проблемные вопросы курса могут быть разъяснены обучающимся во время очных консультаций и дистанционных консультаций с использованием современных коммуникационных платформ (Zoom, Skype и др.) и электронной почты.

Контроль решенных практических задач осуществляется на контрольной работе на семинаре, практико-ориентированная задач во время выступления студентов в группе с докладами по теме реферата, организуется дискуссия.

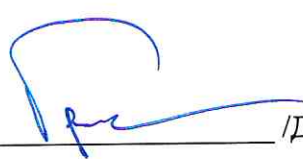
11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система.

Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия, а также активность в семестре.

По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступен в ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

РАЗРАБОТЧИК:

Профессор Института ПМТ, д.т.н., профессор  /Д.Г.Громов/

Рабочая программа дисциплины «Технологии электроники субмикронных размеров» по направлению подготовки 28.04.03 «Нanomатериалы», направленности (профилю) «Синхротронное излучение в технологии наноматериалов» разработана в институте ПМТ и утверждена на заседании института 27 июня 2023 года, протокол № 27

Директор Института ПМТ


_____/С.А.Гаврилов/

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

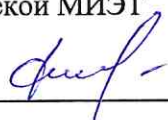
Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК


_____/ И.М.Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки


_____/ Т.П.Филиппова /