

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт
электронной техники»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УР

А.Г. Балашов

«18» сентября

2024 г.

ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ
«ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ»

Программа разработана в Передовой инженерной школе
«Средства проектирования и производства электронной компонентной базы»

Москва – 2024 г.

1. Цель реализации программы

Цель программы – формирование профессиональных компетенций в области технологии микроэлектроники

2. Характеристика профессиональной деятельности и (или) квалификации

При разработке программы учтено мнение следующих высокотехнологичных компаний: АО «НПП «ЭСТО», Научно-исследовательский институт точного машиностроения (АО НИИТМ)

Область профессиональной деятельности: 40 Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности

Вид экономической деятельности: обрабатывающие производства

Укрупненная группа специальностей: 22.00.00 **Материаловедение и технологии материалов**

Квалификация: не присваивается

3. Требования к результатам обучения

Формируемая профессиональная компетенция: способен проводить, разрабатывать и контролировать технологические процессы выпуска изделий микроэлектроники

В результате освоения данной программы слушатель должен:

знать: физико-химические основы процессов технологии микроэлектроники: диффузии, ионной имплантации, эпитаксии, нанесения пленок и слоев, фотолитографии;

уметь: обосновать выбор технологических процессов для получения заданной полупроводниковой структуры;

иметь практический опыт: оценки результатов проведения технологических операций.

4. Требования к уровню подготовки поступающего на обучение, необходимому для освоения программы

Наличие среднего профессионального или высшего образования или получающие среднее профессиональное и (или) высшее образование (при наличии соответствующей справки с указанием года окончания). Наличие указанного образования должно подтверждаться документом государственного или установленного образца.

5. Содержание программы

5.1. Учебный план программы повышения квалификации

«ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ»

Категория слушателей – инженеры, бакалавры, магистры, аспиранты, научные сотрудники с техническим образованием

Срок обучения – 78 часов

Форма обучения: очная.

№ п/п	Наименование разделов/модулей	Всего, час	В том числе		
			Аудиторных		Самостоятельная работа
			Лекции	Практические и/или лабораторные занятия	
1.	Организация микроэлектронно го производства	10	6	2	2
2.	Основные технологические операции производства микроэлектроник и	36	16	8	12
3.	Основы технологии ИС	14	4	8	2
4.	Технологические среды	12	6	4	2
	Итоговая аттестация	6	Зачет с оценкой (4 часа)		2
	Всего	78			

5.2. Учебно-тематический план
программы повышения квалификации
«ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ»

№ п/п	Наименование разделов / модулей	Всего, час	В том числе		
			Аудиторных		Самостоя- тельная работа
			Лекции	Практические и лабораторные занятия	
1.	Организация микроэлектронного производства	10	6	2	2
1.1.	Построение полупроводниковой индустрии, структура и особенности микроэлектронного производства	10	6	2	2
2	Основные технологические операции производства микроэлектроники	36	16	8	12
2.1.	Резка, шлифование, полирование, обработка поверхности	8	2	2	4
2.2.	Формирование диэлектрических слоев. Технологии тонких пленок	8	4	2	2
2.3.	Эпитаксия	4	2	-	2
2.4.	Диффузия, ионная имплантация	4	2	-	2
2.5	Методы контроля	12	6	4	2
3	Основы технологии ИС	14	4	8	2
3.1.	Основы технологии создания кремниевых ИС	14	4	8	2
4	Технологические среды	12	6	4	2
4.1	Технологический микроклимат чистых помещений	10	4	4	2
4.2	Основные требования к материалам, конструкциям и	2	2	-	-

	персоналу при производстве изделий микроэлектроники.				
	Итоговая аттестация	6	Зачет с оценкой (4 часа)	2	
	Всего	78			

5.3. Календарный учебный график

Календарный учебный график составляется в форме расписания занятий при наборе группы и прилагается к программе повышения квалификации.

5.4. Учебная программа повышения квалификации

«ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ»

Перечень лекций

Номер раздела и темы	Краткое содержание	Кол-во часов
1.	Организация микроэлектронного производства	6
1.1.	Экономические и технологические аспекты современной микроэлектроники. Построение полупроводниковой индустрии, экосистема микроэлектроники - потребители, технология, оборудование, кадры.	2
1.1.	Сегменты полупроводниковой индустрии. Построение производства микроэлектроники. Требования к чистоте материалов, к линиям транспортировки технологических сред, спецификации, контроль качества, сертификация, стандартизация. Инфраструктура обеспечения микроэлектронного производства особо чистыми материалами и технологическими средами.	4
2.	Основные технологические операции производства микроэлектроники	16
2.1	Общая классификация физико-химических процессов технологии микроэлектроники. Резка, шлифование, полирование, обработка поверхности Теоретические основы и классификация процессов удаления вещества с поверхности твердой фазы. Механическое удаление вещества. Механизм процессов резки, шлифовки и полировки пластин кремния. Основные закономерности процессов. Нарушенный слой и его структура. Оценка качества механической обработки пластин. Пути попадания загрязнений на поверхность подложки. Классификация основных видов загрязнений. Технологические процессы очистки	2

	поверхности подложки. Химическое и электрохимическое удаление вещества с поверхности твердой фазы.	
2.2	Технологии тонких пленок Диэлектрические пленки в технологии микроэлектроники. Механизм и кинетика термического окисления кремния. Газофазные методы осаждения диэлектрических пленок Вакуум-термическое испарение и конденсация. Зависимость свойств тонких пленок от условий нанесения. Резистивный и электронно-лучевой методы нанесения тонких пленок металлов, сплавов и соединений. Ионно-плазменное распыление. Структура тлеющего разряда. Катодное нанесение тонких пленок металлов, сплавов и соединений. Реактивное ионно-плазменное нанесение тонких пленок. Триодное и магнетронное нанесение тонких пленок металлов, сплавов и соединений.	2
2.2	Ионно-плазменное распыление. Структура тлеющего разряда. Катодное нанесение тонких пленок металлов, сплавов и соединений. Реактивное ионно-плазменное нанесение тонких пленок. Триодное и магнетронное нанесение тонких пленок металлов, сплавов и соединений.	2
2.3	Физико-химические основы процессов нанесения вещества на поверхность твердой фазы – подложки. Классификация процессов нанесения Физико-химические основы автоэпитаксии кремния. Термодинамический анализ системы Si-H-Cl. Кинетика и механизм кристаллизации эпитаксиальных слоев кремния в хлоридном процессе. Гидридный процесс автоэпитаксии кремния. Гетероэпитаксия кремния. Газофазная и жидкофазная эпитаксия полупроводниковых соединений (на примере $A^{III}B^V$). Хемоэпитаксия.	2
2.4	Теоретические основы процессов перераспределения вещества. Механизмы диффузии. Основные законы диффузии. Диффузия примесей в кремнии. Особенности термодиффузионных процессов. Ионное легирование полупроводников. Классификация технологического оборудования для ионной имплантации.	2
2.5	Основы световой микроскопии. Формирование изображения в световом микроскопе. Специальные виды световой микроскопии Просвечивающая и растровая электронная микроскопия. Режимы работы. Формирование изображения. Подготовка образцов для просвечивающей электронной микроскопии.	2
2.5	Спектральные методы анализа. Общая характеристика методов контроля химического состава 2 объемных материалов, поверхности и границ раздела. Методы РСА, ЭСХА, ЭОС, ВИМС	2
2.5.	Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Уравнение Лауэ. Использование обратной для интерпретации уравнений дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке. Электронография. Сравнительный анализ электронографии и рентгенографии. Области	2

	применения и задачи электронографии.	
3.	Основы технологии ИС	4
3.1	Общие закономерности технологии производства компонентов электронной техники. Последовательность технологических процессов и организация технологических маршрутов. Технология кремниевых биполярных ИС. Конструктивно-технологический базис биполярных ИС. Основные этапы формирования структуры элементов биполярных ИС. Технология кремниевых МОП ИС. Варианты технологического процесса производства р-МОП ИС. Варианты технологического процесса производства n-МОП ИС. Основные этапы формирования структуры элементов n-МОП и КМОП-структуры. Основные этапы технологического процесса формирования элементов n-МОП и КМОП ИС. БиКМОП-технология.	2
3.1.	Методы изоляции электронных компонентов в технологии ИС. Технология изоляции электронных компонентов посредством обратного смещенного р-п перехода. Маршруты изготовления ИС с полной диэлектрической изоляцией.	2
4	Технологические среды	6
4.1	Технологический микроклимат чистых помещений Основные понятия и определения. Методы и средства контроля загрязнений в чистых помещениях. Основные принципы жизнеобеспечения и подготовки технологических сред в чистых помещениях. Фильтры для очистки воздуха в чистых помещениях. Движение воздушных потоков в чистом помещении. Температура воздуха, его относительная влажность, перепад давления в основных элементах чистых помещений, кратность воздухообмена, концентрация аэрозольных частиц.	2
4.1	Расход подаваемого и удаляемого воздуха. Контроль движения воздуха между производственными процессами. Основное оборудование при производстве электронных приборов и устройств. Всасывающие и нагнетающие воздуховоды. Центральные кондиционеры.	2
4.2	Технологические газы, используемые в высоких технологиях. Деионизованная вода. Материалы и конструкции чистых помещений при производстве и эксплуатации материалов, компонентов, электронных приборов и устройств. Модульные конструкции. Каркасные и бескаркасные стеновые панели. Спецдежда для персонала (типы тканей одежды и дизайн). Маски и перчатки для чистых помещений. Уборка чистых помещений.	2

Перечень лабораторных занятий

Номер раздела и темы	Наименование лабораторного занятия	Кол-во часов
2.2	Ионно-плазменное и вакуум-термическое нанесение тонких пленок	2
2.5	Определение оптических и геометрических параметров тонких пленок методом эллипсометрии	2
2.5.	Контроль качества обработки поверхности методом гониометрии	2
3.1	Методы создания комбинированной изоляции электронных компонентов в технологии ИС. Технология эппланар и изопланар.	4

Перечень практических занятий

Номер раздела и темы	Наименование практического занятия	Кол-во часов
1.1	Экономические и технологические аспекты современной микроэлектроники. Расчеты проектируемого производства, определение инфраструктурной инженерии по качеству требуемых особо чистых материалов и технологических сред	2
2.1	Расчет параметров процесса плазмохимического травления.	2
3.1	Принцип работы полевого транзистора и классификация МОП транзисторов. Основные характеристики МОП транзистора. Связь основных характеристик МОП - транзистора с конструктивно-технологическими параметрами	2
3.1	Конструктивно-технологические особенности технологии КМОП структур	2
4.1.	Основные параметры технологического микроклимата, подлежащие контролю.	2
4.1.	Оценка эффективности системы кондиционирования воздуха чистых помещений	2

Самостоятельная работа слушателей

Номер раздела и темы	Вид работы или краткое содержание работы	Кол-во часов
1.1	Экономические и технологические аспекты современной микроэлектроники. Подготовка к практическому занятию 1.1.	2
2.1.	Классификация физико-химических процессов технологии микроэлектроники. Процессы сухого травления и литография.	2

	Изучение материала лекции, анализ способов травления и нанесения рисунка на поверхность подложки. Подготовка к практическому занятию 2.1.	
2.1.	Процессы удаления вещества с поверхности твердой фазы. Изучение материала лекции, анализ способов удаления вещества и путей попадания загрязнений.	2
2.2.	Вакуум-термическое нанесение тонких пленок. Подготовка к лабораторному занятию 2.2.	2
2.3	Изучение материала лекции, анализ фазовых диаграмм и разбор способов получения эпитаксиальных слоев.	2
2.4.	Процессы перераспределения вещества. Изучение материала лекции, анализ процессов диффузии и имплантации примеси.	2
2.5.	Методы эллипсометрии и гониометрии для контроля качества операций обработки поверхности и осаждения тонких пленок (изучение видеоматериалов). Подготовка к лабораторным занятиям 2.5	2
3.1.	Технологии производства компонентов электронной техники. Изучение материала лекции, анализ биполярных, МОП, КМОП и БиКМОП-технологий кремниевых ИС. Подготовка к практическому занятию. 3.1. Подготовка к лабораторному занятию 3.1.	2
4.1.	Системы кондиционирования воздуха чистых помещений. Подготовка к практическому занятию 4.1.	2
	Подготовка к зачёту	2

5.5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Слушатели обеспечиваются

1. Справочными материалами, необходимыми для проведения расчетов.
2. Печатными (сканированными) раздаточными материалами.
3. Учебно-методическими материалами, включая видеоматериалы, для самостоятельной работы слушателей (ОРИОКС URL: <http://orioks.miet.ru/>)
4. Учебно-методическими пособиями Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий: В 2-х т.: [Учеб. пособие для вузов]. Т. 1: Физико-химические основы технологии микроэлектроники / Ю.Д. Чистяков, Ю.П. Райнова; Под общ. ред. Ю.Н. Коркишко. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 392 с; 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; 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: 06.09.2024); «Лабораторный практикум по физике и технологии наноструктурной электроники : учебное пособие / И. С. Васильевский, М. М. Грехов, А. С. Гусев [и др.]. —

Москва : НИЯУ МИФИ, 2018. — 256 с. — URL: <https://e.lanbook.com/book/126654> (дата обращения: 06.09.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.» (Лабораторный практикум по физике и технологии наноструктурной электроники : учебное пособие / И. С. Васильевский, М. М. Грехов, А. С. Гусев [и др.]. — Москва: НИЯУ МИФИ, 2018. — ISBN 978-5-7262-2398-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/126654> (дата обращения: 06.09.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей. — С. 3.). Каракеян В. И. Технология микроклимата чистых помещений микроэлектроники: учебное пособие / В. И. Каракеян, Н. М. Ларионов, А. С. Рябышенков, Ю. И. Штерн. - Москва: МИЭТ, 2019. - 120 с.

5.6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятия	Наименование оборудования, программного обеспечения
Учебная аудитория	Лекции, практические занятия	Компьютер с выходом в Интернет
Лаборатория тонкопленочной технологии	Лабораторные занятия	Вакуумная установка термического испарения УРМ-3279011; Вакуумная установка магнетронного напыления УВМ-026; Вакуумная установка ионно-плазменного нанесения УРМ-3279014
Лаборатория дисперсных систем	Лабораторные занятия	Интерактивный комплекс: вакуумная установка МВУ ТМ-Магна Интерактивный комплекс: вакуумная установка МВУ ТМ "Плазма-РИТ" реактивно-ионного травления
Лаборатория дисперсных систем	Лабораторные занятия	Интерактивный спектрально-эллипсометрический комплекс «ЭЛЛИПС-1881А» Гониометр Open Science G1345
Оборудованное рабочее место	Самостоятельная работа слушателей	Компьютер с выходом в Интернет

5.7. Система контроля и оценивания

Оценка качества освоения дисциплины включает текущую и промежуточную аттестацию обучающихся.

Текущая аттестация обучающихся осуществляется на практических занятиях путем оценивания заданий, выполненных в рамках подготовки к практическим и лабораторным занятиям.

Итоговая аттестация по программе проводится в форме зачета с оценкой. Зачет состоит в оценке выполненного обучающимися задания, состоящего из тестовой и письменной частей. Тестирование включает в себя 20 закрытых вопросов на проверку знаний по каждому из модулей. В рамках письменного задания обучающиеся должны описать физико-химические принципы заданного в соответствии с вариантом технологического процесса, факторы, оказывающие влияние на поведение системы, требования материалам, оборудованию и к технологическим средам для реализации данного технологического процесса.

Каждый из вопросов тестирований оценивается в 0,5 баллов, максимальная оценка за тестовую часть составляет 10 баллов. Письменное задание также оценивается максимум в 10 баллов.

Условия начисления баллов за письменное задание по критериям оценивания:

Критерий оценивания	Условия начисления баллов по критерию	Кол-во баллов
Корректность описания физико-химических процессов/ реакций	Описание выполнено в полной мере, приведены все физико-химические аспекты процесса, использованы корректные термины для обозначения операций, эффектов, факторов	2
	Описание приведено, использованы корректные термины для обозначения операций, эффектов, факторов, но студент затрудняется дать развернутое описание, не все физико-химические аспекты указаны	1
	Выполнено не верно или описание физико-химических процессов отсутствует	0
Факторы, оказывающие влияние на поведение системы	Представлены в полной мере все факторы, включая маловероятные, описаны методы предотвращения дефектов описаны в полном объеме	2
	Представлены основные факторы без описания методов предотвращения дефектов	1
	Представлены не верно или отсутствует	0
Представлены используемые материалы	Указаны верно и достаточно: и основные, и дополнительные материалы	3
	Верно указаны необходимые материалы, а также некоторые доп. материалы, способные несущественно изменить проведение процесса	2
	Верно указаны только некоторые основные материалы	1
	Используемые материалы указаны не верно или не указаны	0
Представлены оборудование и требования к технологическим	Приведен полный перечень основного и дополнительного оборудования и требования к технологическим средам, дана аргументация	3
	Приведен полный перечень возможного дополнительного	2

Критерий оценивания	Условия начисления баллов по критерию	Кол-во баллов
средам	оборудования, требования к технологическим средам, допущены не критические ошибки, аргументация приведена частично	
	Приведено только основное оборудование для обеспечения процесса без аргументации	1
	Приведено не верно	0
Итого		10

Таким образом, максимальная оценка за итоговое задание, включая тестовую и письменную часть, составляет 20 баллов. Результирующая оценка обучающихся производится в соответствии со следующей шкалой, при условии того, что каждая из частей задания была выполнена:

- 0-8 – «неудовлетворительно» (незачет),
- 9-12 – зачет с оценкой «удовлетворительно»,
- 13-16 – зачет с оценкой «хорошо»,
- 17-20 – зачет с оценкой «отлично».

6. Разработчики программы

Должность, подразделение

Д.т.н., профессор института ПМТ

К.т.н., доцент института ПМТ

Старший преподаватель института ПМТ

ФИО исполнителя

Д.Г. Громов

Л.И. Матына

Ю.В. Назаркина

Согласовано:

Директор ДРОП

Руководитель направления
Электронное машиностроение

Зам. директора по ОД института ПМТ

Н.Ю. Соколова

А.В. Щагин

Л.И. Матына