

Наименование дисциплины	<b>Процессы микро- и нанотехнологий</b>
<b>Цели освоения дисциплины</b>	
Формировать знания в области современных тенденций развития электроники и методов обработки полупроводниковых материалов и структур с использованием различных технологий; способствовать развитию навыков по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники, разработке технологических инструкций и сопутствующей документации с описанием процессов обработки полупроводниковых подложек, используемого оборудования и расходных материалов	
<b>Место дисциплины в структуре ООП</b>	
Дисциплина «Процессы микро- и нанотехнологий» является дисциплиной по выбору, относящейся к вариативной части Блока I программы подготовки по направлению «Химическая технология» профиля «Технология материалов и изделий электроники и нанoeлектроники»	
<b>Основное содержание</b>	
<p><b>Модуль 1. Общие вопросы.</b></p> <p>Понятие технологического процесса, как последовательности стадий обработки материалов. Понятие лимитирующей стадии технологического процесса. Основные технологические параметры, влияющие на скорость, направления процесса и выход готовой продукции. Понятие основных и вспомогательных технологических операций, понятие технологического маршрута. Классификация операций планарно-эпитаксиальной технологии в зависимости от характера воздействия на используемые материалы.</p> <p><b>Модуль 2. Процессы комплексной очистки подложек (пластин), эпитаксиального наращивания слоев и технологии изготовления печатных плат</b></p> <p>Роль и место процессов очистки в технологии микро- и нанoeлектроники. Типы загрязнений подложек в технологии микро и нанoeлектроники. Специфика комплексной очистки на различных стадиях технологического процесса. Рекомендации по оптимальному использованию жидкостных и сухих методов очистки. Типовые рецептуры жидкостных отмывочных сред и газовых смесей, используемых на производстве. Методы контроля чистоты поверхности. Процессы в технологии изготовления однослойных (односторонних, двухсторонних) и многослойных печатных плат. Поэтапное описание технологии изготовления печатных плат.</p> <p>Понятие эпитаксиального процесса как основной технологической операции планарной технологии. Классификация эпитаксиальных процессов по типу растущего эпитаксиального слоя: гомоэпитаксия (автоэпитаксия), гетероэпитаксия, хемоэпитаксия; по способу его получения: газофазная, жидкостная, молекулярно-пучковая эпитаксии, эпитаксия их металл-органических соединений. Особенности, области применения и физико-химическая сущность каждого из классификационных типов эпитаксиальных процессов. Легирование растущих эпитаксиальных слоев. Основные методы контроля толщины эпитаксиальных слоев.</p> <p><b>Модуль 3. Процессы формирования диэлектрических слоев.</b></p> <p>Назначение и место слоев диоксида, нитрида, карбида и оксинитрида кремния, в также примесно-силикатных стекол и технологии микро- и нанoeлектроники. Возможности различных типов диэлектрических пленок выполнять функции маскирующих, изолирующих и пассивирующих слоев в зависимости от их толщины, химического строения и технологии получения. Сравнительный анализ и физико-химическая сущность процессов формирования диэлектрических слоев за счет материала кремниевой подложки (термическое и плазменное окисление кремния), а также за счет осаждения материала слоя, поступающего из газовой фазы (пиролитическое и плазмохимическое осаждение). Факторы, влияющие на скорость роста пленки и ее физико-электрические параметры (плотность, диэлектрическую постоянную, удельное сопротивление, электрическую прочность, упругие напряжения в слое, количество дефектов и проколов). Рекомендации по оптимальному проведению процессов формирования диэлектрических слоев на различных этапах технологического процесса. Методы контроля толщины и электрических параметров диэлектрических слоев.</p> <p><b>Модуль 4. Процессы формирование топологии элементов в технологии микро- и нанoeлектроники.</b></p>	

Назначение и место литографических процессов в технологии полупроводниковых приборов, ИМС и печатных (коммутационных) плат. Фотолитография как непрерывный цикл последовательных операций нанесения, сушки, экспонирования, проявления и задубливания фоторезиста с последующим формированием маски в технологическом слое. Понятие технологического слоя. Физико-химическая сущность и технологические параметры проведения процессов литографического цикла. Основные законы фотохимии, физико-химические свойства и типы фоторезистов, способы совмещения фотошаблона с подложкой, особенности экспонирования и основные источники возникновения брака при фотолитографии. Фотошаблоны, требования к ним, методы изготовления фотошаблонов, удаление фоторезиста. Усовершенствования традиционного способа фотолитографии, литография в жестком ультрафиолете, многослойные пленки резистов, обратная фотолитография. Электролитография, рентгенолитография, ионолитография, их области применения, преимущества (недостатки) по сравнению с фотолитографией, особенности резистов и шаблонов, стереолитография, нанолитография.

#### **Модуль 5. Процессы формирования в подложке областей с различными электрофизическими характеристиками.**

Процессы формирования легированных областей в полупроводниковых подложках методом термической диффузии, классификация процессов высокотемпературной диффузии, области применения высокотемпературной диффузии, преимущества и недостатки, физические основы процесса диффузии, факторы, влияющие на эффективность внедрения примеси в объем полупроводниковых материалов, механизмы высокотемпературной диффузии, модели диффузионных процессов, критерии выбора диффузанта.

Ионное внедрение примеси в объем полупроводниковых подложек, источники ионов, системы формирования и сепарации ионных пучков, профиль распределения внедренных ионов, применения ионного легирования в технологии микро- и нанoeлектроники; термический и корпускулярно-лучевой отжиг; сравнительный анализ процессов ионного легирования и высокотемпературной диффузии.

Методы контроля глубины залегания легированных областей и профиля распределения внедренной примеси.

#### **Формируемые компетенции**

- способностью планировать и проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности, выдвигать гипотезы и устанавливать границы их применения, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ПК-16)

#### **Образовательные результаты**

**Знания:** определение технологического процесса; стадии обработки полупроводниковых пластин; понятие лимитирующей стадии технологического процесса; перечень технологических параметров, влияющие на скорость, направление процесса и выход готовой продукции; определение основных и вспомогательных технологических операций; определение технологического маршрута; классификацию операций планарно-эпитаксиальной технологии; типы загрязнений полупроводниковых подложек и их источники; последовательность комплексной очистки подложек на различных стадиях технологического процесса; рецептуры жидкостных отмывочных сред и газовых смесей, используемых на производстве; неразрушающие методы контроля чистоты поверхности; определения гомоэпитаксии (автоэпитаксии), гетероэпитаксии, хемоэпитаксии, газофазной, жидкостной, молекулярно-пучковой эпитаксии, эпитаксии их металл-органических соединений; физико-химические особенности легирования эпитаксиальных слоев; основные методы контроля толщины эпитаксиальных слоев; классификацию и физико-химическую сущность процессов формирования диэлектрических (маскирующих, изолирующих и пассивирующих) слоев в технологии микро- и нанoeлектроники; определения пиролитического и плазмохимического осаждения из газовой фазы; рекомендации по оптимальному проведению процессов формирования диэлектрических слоев на различных этапах технологического процесса; методы контроля толщины

и электрических параметров диэлектрических слоев; назначение и характеристики литографических процессов в технологии полупроводниковых приборов, ИМС и печатных (коммутационных) плат; назначение, свойства и типы резистов (фоторезистов) в технологии микро- и нанoeлектроники; операции нанесения, сушки, экспонирования, проявления, задубливания и удаления резиста (фоторезиста); определение технологического слоя; физико-химические характеристики и технологические параметры проведения процессов литографического цикла; способы совмещения фотошаблона с подложкой, источники возникновения брака при фотолитографии; требования к шаблонам, методы их изготовления; определения, возможности и области применения современных видов литографии (электролитография, рентгенолитографии, ионолитографии); назначение, характеристики, физические основы и области применения процессов формирования легированных областей в полупроводниковых подложках методом термической диффузии и ионного внедрения примеси; факторы, влияющие на эффективность внедрения примеси в объем полупроводниковых материалов, механизмы и модели высокотемпературной диффузии и ионного внедрения примеси; критерии выбора диффузантов; типы и конструкционные особенности ионных источников; методы контроля глубины залегания легированных областей и профиля распределения внедренной примеси; систему отчетной документации, сопровождающей технологический процесс; инструкции по эксплуатации базового технологического оборудования;

**Умения:** работать в коллективе (малых группах) при решении профессиональных задач; выполнять работы по технической подготовке производства материалов и изделий электронной техники; классифицировать стадии обработки полупроводниковых пластин; выделять лимитирующие стадии технологического процесса; подбирать оптимальные параметры технологических процессов; отличать основные и вспомогательные технологические операции; компоновать технологический маршрут и разрабатывать инструкции по использованию технологического оборудования; классифицировать операции планарно-эпитаксиальной технологии, типы загрязнений полупроводниковых подложек и их источники; выполнять комплексную очистку подложек на различных стадиях технологического процесса; правильно применять жидкостные отмывочные средства и газовые смеси, проводить контроль чистоты поверхности полупроводниковых пластин и монокристаллических слитков с использованием неразрушающих физико-химических методов; выбирать режимы и параметры проведения гомоэпитаксиальных (автоэпитаксиальных), гетероэпитаксиальных, хемоэпитаксиальных, газофазных и жидкостных процессов; предсказывать результаты легирования эпитаксиальных слоев; применять на практике методы контроля толщины эпитаксиальных слоев; формировать на подложках диэлектрические слои; оптимизировать параметры пиролитического и плазмохимического осаждения диэлектрических и полупроводниковых слоев из газовой фазы; владеть методикой контроля толщины и электрических параметров диэлектрических слоев; выбирать режимы и параметры литографических процессов в технологии производства полупроводниковых приборов, ИМС и печатных (коммутационных) плат; подбирать необходимый тип резиста (фоторезиста) в технологии микро- и нанoeлектроники; оптимизировать процессы (операции) нанесения, сушки, экспонирования, проявления, задубливания и удаления резиста (фоторезиста), совмещения фотошаблона с подложкой; минимизировать вероятность возникновения брака; формировать легированные области в полупроводниковых подложках методом термической диффузии и ионного внедрения примеси и осуществлять между ними аргументированный выбор; выбирать диффузанты; применять методы контроля глубины залегания легированных областей и профиля распределения примеси;

**Владение:** навыками работы в коллективе (малых группах) при решении профессиональных задач; алгоритмами работы по технической подготовке производства материалов и изделий электронной техники, компоновке технологических маршрутов и разработке инструкций по использованию технологического оборудования, выполнению комплексной очистки подложек, выбора жидкостных отмывочных средств и газовых смесей, контроля чистоты поверхности полупроводниковых пластин и монокристаллических слитков с использованием неразрушающих физико-химических методов, выбора режимов и параметров проведения гомоэпитаксиальных (автоэпитаксиальных), гетероэпитаксиальных, хемоэпитаксиальных, газофазных и жидкостных процессов, легирования эпитаксиальных слоев и контроля их толщины, формирования на подложках диэлектрических слоев, проведения процессов пиролитического и плазмохимического осаждения из газовой фазы; методикой контроля толщины и электрических параметров диэлектрических слоев; практически

навыками при подборе необходимого типа резиста (фоторезиста) в технологии микро- и нанoeлектроники, проведении процессов нанесения, сушки, экспонирования, проявления, задубливания, удаления резиста (фоторезиста), совмещения фотошаблона с подложкой и выявлении брака; алгоритмами работы по формированию легированных областей в полупроводниковых подложках методом термической диффузии и ионного внедрения примеси, выбору диффузантов; методами контроля глубины залегания легированных областей и профиля распределения примеси.

**Взаимосвязь дисциплины с профессиональной деятельностью выпускника**

Дисциплина «Процессы микро- и нанотехнологий» в современных условиях инновационного развития экономики и производства позволит выпускнику применять современные интенсивные нанотехнологические процессы в производстве изделий электроники и нанoeлектроники. Это позволит не только интенсифицировать производство тех или иных изделий, но и совершить скачок в технологических параметрах и качестве будущих электронных приборов.

Освоение дисциплины обеспечивает решение выпускником задач будущей профессиональной деятельности в следующих областях: производственно-технологической, научно-исследовательской.

**Ответственная кафедра**

Кафедра технологии приборов и материалов электронной техники

Начальник УМУ \_\_\_\_\_



Н.Е. Гордина