

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Структурное подразделение «Радиоэлектроники и телекоммуникационных систем»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры
Протокол №13 от 02 июня 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«ПРОЦЕССЫ МИКРО- И НАНОТЕХНОЛОГИИ»

Направление: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Компоненты микро- и наносистемной техники

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой
электронной подписью
Составитель программы:
Ниндакова Лидия Очировна
Дата подписания: 20.06.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Утвердил: Ченский Александр
Геннадьевич
Дата подписания: 21.06.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Согласовал: Ниндакова Лидия
Очировна
Дата подписания: 20.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Процессы микро- и нанотехнологии» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПКР-2 Способность выбирать и применять на практике методы и средства планирования и организации исследований и разработок, методы проведения экспериментов и наблюдений, обобщения и обработки информации	ПКР-2.3

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПКР-2.3	Способен анализировать и обрабатывать информацию, проводить исследования по базовым процессам микро- и нанотехнологий	Знать базовые процессы микро- и нанотехнологий; Уметь проводить исследования по базовым процессам микро- и нанотехнологий; Владеть навыками анализа и обработки полученной информации.

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Процессы микро- и нанотехнологии» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Химия», «Химические и фазовые равновесия»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Проектная деятельность», «Гетероструктурные полупроводниковые приборы», «Производственная практика: практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 3 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 7
Общая трудоемкость дисциплины	108	108
Аудиторные занятия, в том числе:	64	64
лекции	32	32
лабораторные работы	16	16
практические/семинарские занятия	16	16
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	44	44
Трудоемкость промежуточной аттестации	0	0

Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Зачет	Зачет
--	-------	-------

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 7

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)		№	Кол. Час.	
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Введение. Системный подход к процессам микро- и нанотехнологии.	1	2							Устный опрос
2	Производственна я чистота и гигиена в процессах микро- и нанотехнологий.	2	2							Устный опрос
3	Оборудование и методы нанесения вещества: PVD, CVD-процессы.	3	2							Устный опрос
4	Оборудование и методы нанесения вещества в вакууме из молекулярных пучков.	4		1	6	1	2	3, 6	4	Отчет по лаборатор ной работе
5	Оборудование и методы нанесения вещества: ALD – процесс, основы и развитие.	5	2							Устный опрос
6	Оборудование и методы нанесения вещества. Молекулярно- лучевая эпитаксия	6	2			2	2	6, 8	8	Решение задач
7	Оборудование и методы осаждения из жидкой фазы.	7	2							Устный опрос
8	Оборудование и методы нанесения вещества. Золь- гель технология.	8	2			3	2	1	2	Тест
9	Формирование стекловидных пленок золь- гель	9		2	5			3, 6	4	Отчет по лаборатор ной работе

	методом.									
10	Оборудование и методы удаления вещества. Процессы химического и сухого травления.	10		3	5	4	2	3, 6	6	Отчет по лабораторной работе
11	Оборудование и методы модифицирования вещества: окисление в газовой и жидких средах.	11	2					4	4	Устный опрос
12	Оборудование и методы модифицирования вещества: формирование легированных областей в полупроводниковых подложках; ионная имплантация.	12	2					5	2	Устный опрос
13	Литографические процессы. Классификация базовых методов литографии. Основные этапы технологического процесса литографии.	13	2			5	2			Устный опрос
14	Литографические процессы. Принципы формирования изображения.	14	2					2, 4	4	Устный опрос
15	Оптическая литография	15	2							Устный опрос
16	Литография сканирующими электронными и ионными пучками	16	2			6	2			Устный опрос
17	Рентгено-лучевая литография.	17	2					4	2	Устный опрос
18	Зондовые методы литографии.	18	2			7	2	5	4	Устный опрос
19	Нанолитография.	19	2			8	2	7	4	Устный опрос
	Промежуточная аттестация									Зачет
	Всего		32		16		16		44	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 7

№	Тема	Краткое содержание
---	------	--------------------

1	Введение. Системный подход к процессам микро- и нанотехнологии.	Возникновение и развитие микро- и нанотехнологии. Миниатюризация и тенденции развития. Закон Мура. Системная модель технологического процесса: объект, воздействие, процесс. Классификация процессов микро- и нанотехнологии по физико-химической сущности, виду процесса, характеру протекания процессов, способу активации. Виды термического и корпускулярно-лучевого воздействий: резистивный, лучистый и индукционный нагрев, электронные и лазерные пучки, плазма и ионные пучки.
2	Производственная чистота и гигиена в процессах микро- и нанотехнологий.	Определение термина «чистое помещение». Принципы построения чистых помещений. История чистых помещений. Стандарты классификации чистых помещений. Класс чистоты помещения. Классификация чистых помещений по типам воздухообмена. Источники загрязнений, способы обеспечения и поддержания чистоты. Конструкционные материалы для чистых помещений. Определение концентрации частиц. Основы эксплуатации чистых помещений. Одежда для чистых помещений и дополнительные компоненты чистых помещений. Чистые технологические среды и материалы. Особо чистые химические реактивы, газы, твердые вещества. Безопасность работы в чистых помещениях.
3	Оборудование и методы нанесения вещества: PVD, CVD-процессы.	Оборудование и методы осаждения из газовой фазы: PVD, CVD.
4	Оборудование и методы нанесения вещества в вакууме из молекулярных пучков.	Оборудование и методы нанесения вещества в вакууме из молекулярных пучков: вакуум-термическое испарение. Оборудование и методы ионно-плазменного осаждения: катодное, магнетронное, реактивное распыления; ионно-и плазмохимическое осаждение
5	Оборудование и методы нанесения вещества: ALD – процесс, основы и развитие.	Оборудование и методы осаждения из газовой фазы: ALD (атомное слоевое осаждение). Теоретические и экспериментальные основы метода ALD. Развитие метода.
6	Оборудование и методы нанесения вещества. Молекулярно-лучевая эпитаксия	Молекулярно-лучевая эпитаксия; газофазная эпитаксия; газофазные методы молекулярной химической сборки. Кинетика и термодинамика в описании процесса роста при молекулярно-пучковой эпитаксии. Расчет скорости осаждения слоев. Закономерности легирования слоев. Управление составом многокомпонентных растворов в методе эпитаксии. Газофазная эпитаксия кремния, бинарных и многокомпонентных соединений; газофазные

		методы молекулярной химической сборки.
7	Оборудование и методы осаждения из жидкой фазы.	Оборудование и методы осаждения из жидкой фазы: жидкофазная эпитаксия, электрохимическое осаждение слоев, нанесение моно- и мультислоев органических веществ методом Ленгмюра-Блоджетт.
8	Оборудование и методы нанесения вещества. Золь-гель технология.	Золь-гель технология. Основы золь-гель-технологии. Современное состояние и перспективы развития золь-гель-технологии. Молекулярная инженерия и темплатный синтез в золь-гель-технологии. Перспективы развития органо-неорганических золь-гель-технологий. Формирование стекловидных пленок золь-гель методом. Получение протонпроводящих мембран. Золь-гель-синтез нанокomпозиционных гибридных органо-неорганических флуоресцентных материалов. Роль и место золь-гель технологии в производстве нанокomпозитов.
9	Формирование стекловидных пленок золь-гель методом.	Формирование стекловидных пленок золь-гель методом.
10	Оборудование и методы удаления вещества. Процессы химического и сухого травления.	Типы загрязнений подложек в технологии микро и наноэлектроники. Специфика комплексной очистки на различных стадиях технологического процесса. Рекомендации по оптимальному использованию жидкостных и сухих методов очистки. Процессы химического травления: механизмы травления; оборудование, методы и среды для жидкостного и газового травления; изотропное, анизотропное, локальное, селективное травление. Плазмохимическое и реактивно-ионное сухое травление. Классификация методик сухого травления. Оборудование для сухого травления. Электрохимическое травление, получение пористого кремния.
11	Оборудование и методы модифицирования вещества: окисление в газовой и жидких средах.	Оборудование и методы окисления в газовой и жидких средах: высокотемпературное термическое сухое и влажное окисление, электрохимическое окисление, теоретические модели окисления. Окисление в плазме. Возможности различных типов диэлектрических пленок выполнять функции маскирующих, изолирующих и пассивирующих слоев в зависимости от их толщины, химического строения и технологии получения.
12	Оборудование и методы модифицирования вещества: формирование легированных областей в полупроводниковых	Процессы формирования легированных областей в полупроводниковых подложках методом термической диффузии, факторы, влияющие на эффективность внедрения примеси в объем полупроводниковых материалов. Ионное внедрение примеси в объем полупроводниковых

	подложках;ионная имплантация.	подложек, источники ионов. Ионная имплантация: распределение примесей, оборудование и методы ионной имплантации. Имплантография.
13	Литографические процессы. Классификация базовых методов литографии. Основные этапы технологического процесса литографии.	Классификация базовых методов литографии: фото-, рентгено-,электронно- и ионолитография. Основные этапы технологического процесса литографии. Технологическая схема процесса фотолитографии. Назначение, физическая сущность и технология основных этапов процесса фотолитографии. Оборудование для фотолитографии. Резисты и способы их нанесения; позитивные, негативные, жидкие и сухие резисты. Химические процессы при экспонировании и проявлении резистов. Параметры резистов. Методы нанесения резистов. Контроль параметров слоя резиста. Типы термической обработки резиста. Фотошаблоны. Виды фотошаблонов, их структура и технические требования к ним. Процесс разработки и изготовления фотошаблонов.
14	Литографические процессы. Принципы формирования изображения.	Аппаратура и способы совмещения и экспонирования. Процесс экспонирования. Принципы формирования изображения. Преимущества и особенности проекционной фотолитографии. Пространственное разрешение процесса фотолитографии. Методики улучшения разрешения фотолитографии: уменьшение длины волны излучения, технологические методики улучшения разрешения (коррекция эффекта близости, фазосдвигающие маски, двойное экспонирование). Эволюция процессов экспонирования.
15	Оптическая литография	Возможности и перспективы оптической фотолитографии. Литография в области экстремального ультрафиолета (EUV). Иммерсионная литография. Резисты для ближнего УФ диапазона. Особенности резистов для дальнего и экстремального УФ диапазонов. Химически усиленные резисты. Процесс «взрывной» литографии.
16	Литография сканирующими электронными и ионными пучками	Электронно-лучевая литография (ЭЛЛ). Электронно-резисты. Проекционная электронная литография. Сканирующая электронная литография. Технология SCALPEL. Многолучевые методы. Оборудование для электронно-лучевой литографии. Применение ЭЛЛ для изготовления структур наноэлектроники. Ионно-лучевая литография. Основы FIB-технологии.
17	Рентгено-лучевая литография.	Рентгено-лучевая литография (РЛЛ): определение, особенности реализации, преимущества и недостатки по сравнению с фотолитографией.

		Способы переноса изображения с рентгеношаблона на рабочую площадь подложек. Особенности экспонирования в РЛЛ. Рентгенорезисты, их свойства и характеристики. Выбор резистов для РЛЛ. Технологический процесс создания структур «кремний-на изоляторе» (КНИ), «кремний-на- сапфире» (КНС) и перспективы их применения в нано- и микросистемной технике.
18	Зондовые методы литографии.	Зондовые методы формирования наноструктур. Формирование наноструктур с помощью сканирующей туннельной микроскопии и сканирующей зондовой микроскопии. Нелитографические методы получения топологии наноструктур.
19	Нанолитография.	Нанолитография в современном понимании. Лазерно-интерференционная нанолитография (ЛИН). Атомная нанолитография. Литография наносферами. Dip-Pen, Nano-Pen литографии. Муаровая нанолитография. Наноимпринт литография. Типы наноимпринт - литографии. Материалы и оборудование. «Мягкая» литография. Варианты процессов S-FIL- наноимпринт-литографии. Классификация лазеров и области применения лазерных пучков. Лазерная литография. Взаимодействие лазерного излучения с резистом. Сравнение методов фокусированного ионного пучка, электронно-лучевой литографии и лазерной литографии. Новые литографические методы получения топологии наноструктур. Примеры создания наноразмерных приборных структур нанолитографическими методами. Графеновые технологии.

4.3 Перечень лабораторных работ

Семестр № 7

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Получение металлических пленок методом термического испарения в вакууме.	6
2	Формирование стекловидных пленок золь-гель методом	5
3	Жидкостная очистка и травление полупроводниковых пластин	5

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 7

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических
---	---	----------------------

		часов
1	Оборудование и методы нанесения вещества в вакууме из молекулярных пучков: вакуум-термическое испарение. Оборудование и методы ионно-плазменного осаждения: катодное, магнетронное, реактивное распыления; ионно-и плазмохимическое осаждение. Оборудование и методы нанесения вещества в вакууме из молекулярных пучков.	2
2	Кинетика и термодинамика в описании процесса роста при молекулярно-пучковой эпитаксии. Расчет скорости осаждения слоев. Закономерности легирования слоев. Управление составом многокомпонентных растворов в методе эпитаксии. Газофазная эпитаксия кремния, бинарных и многокомпонентных соединений; газофазные методы молекулярной химической сборки.	2
3	Золь-гель технология. Формирование стекловидных пленок золь-гель методом. Получение протонпроводящих мембран. Золь-гель-синтез нанокomпозиционных гибридных органо-неорганических флуоресцентных материалов. Роль и место золь-гель технологии в производстве нанокomпозитов.	2
4	Типы загрязнений подложек в технологии микро и наноэлектроники. Специфика комплексной очистки на различных стадиях технологического процесса. Рекомендации по оптимальному использованию жидкостных и сухих методов очистки. Процессы химического травления: механизмы травления; оборудование, методы и среды для жидкостного и газового травления; изотропное, анизотропное, локальное, селективное травление. Плазмохимическое и реактивно-ионное сухое травление. Классификация методик сухого травления. Оборудование для сухого травления. Электрохимическое травление, получение пористого кремния.	2
5	Технологический процесс создания структур «кремний-на изоляторе» (КНИ), «кремний-на-сапфире» (КНС) и перспективы их применения в нано- и микросистемной технике.	2
6	Классификация лазеров и области применения лазерных пучков. Лазерная литография. Взаимодействие лазерного излучения с резистом. Сравнение методов фокусированного ионного пучка, электронно-лучевой литографии и лазерной литографии. Новые литографические методы получения топологии наноструктур.	2

	Примеры создания наноразмерных приборных структур нанолитографическими методами.	
7	Нелитографические методы получения топологии наноструктур.	2
8	Графеновые технологии	2

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 7

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Выполнение тренировочных и обучающих тестов	2
2	Выполнение тренировочных и обучающих тестов в дистанционном режиме	2
3	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	6
4	Подготовка к зачёту	8
5	Подготовка к практическим занятиям	6
6	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам)	12
7	Проработка разделов теоретического материала	4
8	Решение специальных задач	4

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: диспут

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Практические (семинарские) занятия проводятся для закрепления усвоенной информации, приобретения навыков ее применения для решения практических задач в предметной области дисциплины.

Практические занятия (семинары) имеют целью закрепления знаний, полученных на лекциях. Все практические занятия дисциплины проводятся в специализированных аудиториях университета. На первом занятии преподаватель напоминает студентам

требования техники безопасности. На практических занятиях студенты овладевают первоначальными профессиональными умениями и навыками, которые в дальнейшем закрепляются и совершенствуются при изучении специальных дисциплин, а также в процессе прохождения производственной практики.

Проводя практические занятия по данной дисциплине, предлагается использовать задания, указанные в фонде оценочных средств по данной дисциплине. Для закрепления практических навыков и умений студентам следует по каждой теме выдавать задания на самостоятельную работу, по трудоемкости сходные с задачами, решаемыми в аудитории. Наряду с формированием умений и навыков в процессе практических занятий обобщаются, систематизируются, углубляются и конкретизируются теоретические знания, вырабатывается способность и готовность использовать теоретические знания на

практике, развиваются аналитические и интеллектуальные умения.

Готовиться к практическому занятию всегда нужно заранее. Подготовка к практическому занятию включает в себя следующее:

- обязательное ознакомление с планом занятия, в котором содержатся основные вопросы, выносимые на обсуждение;
- изучение конспектов лекций, соответствующих разделов учебника, учебного пособия;
- работа с основными терминами (рекомендуется их выучить);
- изучение дополнительной литературы по теме занятия;
- запись возникших во время самостоятельной работы с учебниками и научно-технической литературы вопросов, чтобы затем на семинаре получить на них ответы;
- обращение за консультацией к преподавателю.

Особенностью практического (семинарского) занятия как формы коллективной теоретической работы является возможность равноправного и активного участия каждого студента в обсуждении поставленных вопросов.

В практике практических (семинарских) занятий при изучении дисциплины «Процессы микро- и нанотехнологии» применяются следующие формы:

- собеседование (развернутая беседа);
- устный опрос (семинар-коллоквиум);
- обсуждение докладов и рефератов;
- письменные работы (контрольная работа, тестирование);
- решение специальных задач.

Собеседование (развернутая беседа) предполагает подготовку студентов по каждому вопросу плана занятия с единым для всех перечнем рекомендуемой обязательной и дополнительной литературы; выступление студентов (по их желанию или по вызову преподавателя). В ходе беседы студентам предоставляется право высказывать собственное мнение, выступать с подготовленными сообщениями, но придерживаться принятого плана. Эта форма семинарского занятия позволяет вовлечь в процесс обсуждения проблемных вопросов максимальное число студентов.

Одной из форм учебных занятий, беседы преподавателя с обучающимися для выяснения знаний, является коллоквиум (от лат. «colloquium» - «разговор», «беседа»). Коллоквиум выполняет контрольно-обучающую функцию. Его можно назначать вместо семинара на итоговом практическом занятии. Коллоквиум дает возможность диагностики усвоения знаний, выполняет организующую функцию, активизирует студентов.

В образовательном процессе практикуется решение задач и упражнений. Следует давать полную самостоятельность студентам при решении задач. Если возникают общие для всей аудитории затруднения, задачи решают совместно. При объяснении новых задач преподавателю нужно показать алгоритм их решения на доске.

Практическое занятие может пройти в форме письменного задания. Это может быть тестирование, вопросы с развернутыми ответами. Вопросы с развернутыми ответами по сравнению с тестом дают студентам свободу при ответе, развивают логическую и языковую культуру, предлагают более глубокое рассмотрение той или иной проблемы. Для оценки письменных заданий такого рода (для каждого из них) предварительно разрабатывается модель подсчета баллов.

Учебным планом может быть предусмотрено выполнение контрольной работы. Ее цель - проверить уровень усвоения студентами разделов или ключевых тем курса. Контрольная работа может быть проведена в форме письменной работы или тестирования. Сроки проведения контрольной работы указываются в графике учебной работы по данному предмету, но это совсем не обязательно. Контрольная работа вполне может быть «приятной неожиданностью» для студента.

В практике преподавания дисциплины используется реферативная форма проведения практического занятия (семинара). Рефераты полезны по узким проблемам.

Преподаватель предлагает тему, литературу, предварительно знакомится с содержанием реферата, который затем представляется в устной форме в виде доклада с презентацией. Требование к студенту - свободно владеть материалом. Преподаватель может прервать докладчика для обсуждения той или иной детали или идеи.

Студент несёт ответственность за: пропуск занятий по неуважительной причине; неподготовленность к практическим занятиям.

Устный опрос позволяет оценить знания и кругозор студента, умение логически построить ответ, владение речью и иные коммуникативные навыки; позволяет выявить детали, которые по каким-то причинам оказались недостаточно осмысленными в ходе учебных занятий.

Описание процедуры:

Устный опрос проводится во время аудиторных занятий. Преподаватель продумывает вопросы с целью выяснения, как студенты усвоили теоретический материал. Устный опрос является одним из эффективных методов повышения активности студентов на занятии. Проводится фронтальный, индивидуальный и комбинированный опрос.

1. Введение в технологии чистоты. Определение термина «чистое помещение». Роль чистых помещений в развитии науки и техники, в частности в нанотехнологии.
2. Стандарты классификации чистых помещений. Класс чистоты помещения. Классификация чистых помещений по типам воздухообмена. Турбулентные чистые помещения. Чистые помещения с однонаправленным движением воздуха.
3. Принципы построения чистых помещений. История чистых помещений. Стандарты классификации чистых помещений.
4. Класс чистоты помещения. Классификация чистых помещений по типам воздухообмена. Турбулентные чистые помещения. Чистые помещения с однонаправленным движением воздуха. Характеристики воздухообмена.
5. Способы снижения издержек, изоляторы, мини-зоны. Конструкционные материалы для чистых помещений. Высокоэффективная фильтрация воздуха. Определение концентрации частиц.
6. Основы эксплуатации чистых помещений. Одежда для чистых помещений и дополнительные компоненты чистых помещений.

5.1.2 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Лабораторные работы предназначены для приобретения опыта практической реализации полученных теоретических знаний. Лабораторные работы позволяют объединить теоретические знания и практические навыки студентов в процессе обучения.

При подготовке к лабораторным занятиям необходимо заранее изучить методические рекомендации по их проведению. Обратит внимание на цель занятия, основные вопросы для подготовки к занятию, содержание темы занятия. В подготовку входят: изучение соответствующего теоретического материала, подготовка таблиц для занесения в них экспериментальных результатов, а также знакомство с разделом «порядок выполнения работы». Методические указания к лабораторным работам прорабатываются студентами во время самостоятельной подготовки. Необходимый уровень подготовки контролируется преподавателем перед проведением лабораторных работ. На лабораторных работах под руководством преподавателя проводятся опыты с использованием специального оборудования, химической посуды и реактивов.

При изучении дисциплины «Процессы микро- и нанотехнологии», согласно учебному плану, обучающиеся выполняют следующие лабораторные работы:

1. Получение металлических пленок методом термического испарения в вакууме.
2. Получение стекловидных пленок золь-гель методом.
3. Жидкостная очистка и травление полупроводниковых пластин.

Лабораторная работа №1 «Получение металлических пленок методом термического испарения в вакууме».

Цель работы:

1. Ознакомление с технологией получения тонких металлических пленок методом вакуумного термического испарения.
2. Исследование влияния режимов процесса вакуумного термического испарения на параметры формируемой пленки.

Оборудование и материалы: установка ВУП-4 (вакуумный универсальный пост); испаритель – вольфрам; напыляемое вещество – медная проволока; подложка – стекло; растворители для очистки поверхности стекла – спирт этиловый, ацетон.

В настоящее время наиболее широкое применение получил метод напыления тонких пленок путем термического испарения в вакууме. Основное достоинство метода - его универсальность. На одной и той же вакуумной установке можно получить однородные слои металлов, сплавов, полупроводников и диэлектриков различной толщины, а также получить тонкие пленки из разнородных веществ с определенным соотношением составных частей и различной толщиной каждого слоя.

В теоретической части рассмотрены вопросы, касающиеся актуальности пленочных технологий, требований к условиям вакуума в процессе напыления, устройство и работа вакуумного универсального поста ВУП-4, вид и конструкция испарителя.

Порядок выполнения работы:

Вид работы: напыление. Испаритель: вольфрам.

Напыляемое вещество: металлические медь, серебро. Объект напыления: стекло.

Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Подготовка подложки (стекла) к напылению.
2. Подготовка напыляемого вещества - медной проволока.
3. Установление необходимого вакуума.
3. Непосредственно процесс напыления в камере установки вакуумного поста (ВУП-4).

Приведено детальное описание процесса напыления.

4. Взвешивание полученных подложек с пленочным покрытием.
5. Расчет толщины металлических пленок.
6. Ознакомление с контрольными вопросами.
7. Подготовка материалов к отчету по лабораторной работе. Написание отчета по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой вакуум-термическое испарение? Где оно используется?
2. При каких условиях протекает процесс испарения материалов? Сравните низкий, средний и высокий вакуум.
3. Поясните процесс испарения материалов в вакууме. Объясните процессы плавления, сублимации. Как влияют температура, скорость испарения и давление паров на процесс испарения?
3. Какова связь между длиной свободного пробега молекул и степенью вакуума в камере установки?
4. Каковы порядок и содержание операций при напылении тонко-пленочных элементов?
5. Каковы особенности испарения материалов, использованных в работе?
6. Каковы технологические режимы напыления пленок резисторов, конденсаторов и проводников?
7. Какая взаимосвязь существует между условиями напыления и электрическими параметрами тонких пленок?

Лабораторная работа №2 «Получение стекловидных пленок золь-гель методом»

Цель работы: научиться получать стекловидные пленки золь-гель методом.

Приборы и реактивы: магнитная мешалка с обогревом, центрифуга,

тетраэтилортосиликат, нитраты кобальта и никеля, хлориды кобальта и никеля, этиловый спирт (изопропиловый спирт), дистиллированная вода.

В теоретической части рассмотрены основные принципы и условия формирования стекловидных пленок золь-гель методом, особенности применения стекловидных пленок в планарной технологии микроэлектроники, достоинства и недостатки метода, температурно-временные режимы золь-гель-нанотехнологии, способы нанесения покрытий из растворов, термическая обработка пленок, особенности получения гибридных органо-неорганических нанокомпозитов для электроизоляционных покрытий. Приведен пример расчета состава исходных компонентов для получения стекловидных пленок.

Порядок выполнения работы:

1. Приготовление раствора, содержащего компоненты – модификаторы, входящие в состав золя.
2. Приготовление реакционного состава добавляя необходимое (расчетное) количество силикатного реагента (тетраэтилортосиликата).
3. Подготовка стеклянной подложки для нанесения пленки.
4. Формирование стекловидной пленки на стеклянной подложке методом центрифугирования.
5. Термообработка полученной пленки
6. Исследование пленки методом оптической микроскопии и СЗМ.
7. Подготовка материалов к отчету по лабораторной работе. Написание отчета по лабораторной работе.
8. Ознакомление с контрольными вопросами.

Контрольные вопросы:

1. Напишите реакции гидролиза тетраэтоксисилана $\text{Si}(\text{OEt})_4$ и поликонденсации продуктов гидролиза/
2. Как можно описать темплатное действие гиперразветвленных полимеров, введенных в золи, на структуру образующегося гибрида.
3. Что такое структура «гость-хозяин». Опишите подобную структуру на примере тонких силикатных пленок, полученных из золь-гелей на основе тетраэтоксисилана и неорганических добавок (солей металлов)
4. Какое соотношение органической и неорганической составляющих должно быть в золе, чтобы образовалась структура ВПС (взаимопроникающие сетки).
5. Приведите пример получения люминесцентных материалов золь-гель методом.
6. Какие функции могут выполнять тонкие пленки в технологическом цикле изготовления микроэлектронных устройств, например, металлооксидных газовых сенсоров?
7. Какие достоинства имеет способ диффузии из пленок, полученных золь-гель методом? Почему малозумящие транзисторы получают, используя легирование из пленочных источников, полученных по золь-гель технологии.
8. Какие легирующие примеси можно вводить в золь? Какие проблемы могут возникнуть при увеличении концентрации допантов в золях?

Лабораторная работа №3 «Жидкостная очистка и травление полупроводниковых пластин»

Цель работы: практическое освоение технологических приемов химического травления при изготовлении печатной платы.

Приборы и реактивы: пластины текстолита, фторопластовый пинцет, резиновые перчатки, стаканы химические (250-350 мл)- 5 шт., перекись водорода (3%-ный раствор), хлорное железо, сульфат меди, хлорид натрия, соляная кислота, азотная кислота, дистиллированная вода, этиловый спирт, ацетон, бумажные фильтры, наждачная бумага (мелкой фракции).

В теоретической части работы рассмотрены составы травильных растворов, способы травления заготовок печатных плат.

Порядок выполнения работы:

Получить у преподавателя пластины текстолита, пинцет, резиновые перчатки.

Ознакомиться с рабочим местом: оборудованием, приборами, инструментом, материалами. Все работы с использованием травителей выполнять в резиновых перчатках в вытяжном шкафу при включенной вытяжной вентиляции.

I. Подготовительные операции:

1.1. Подготовить пластины из одностороннего фольгированного текстолита (поскольку мы будем делать одностороннюю плату) - заготовка для платы; их размер 5x7 см;

1.2. Подготовить наждачную бумагу самой мелкой фракции – она необходима для повышения адгезионных свойств поверхности меди, для улучшенного переноса тонера на медь;

1.3. Подготовить спирт и ацетон - для обезжиривания медной поверхности;

1.4. Подготовить фотобумагу или глянцевую бумагу для переноса рисунка печатной платы;

1.5. Подготовить 5 химических термостойких стаканов (250-350 мл).

2. Подготовка поверхности пластины

2.1. Обработать наждачной бумагой медную поверхность.

2.2. Обезжирить при помощи спирта, ацетона (или аналогов).

2.3. При обезжиривании поверхности текстолитовой пластинки, не только очищается поверхность от загрязнений, но и усиливаются адгезионные свойства медной поверхности - это упрощает перенос тонера.

3. Подготовка бумажного шаблона для переноса рисунка на печатную плату.

Изображение платы в зеркальном отображении распечатывается на лазерном принтере на подложке. При этом в качестве подложки используется тонкая мелованная бумага (обложки от различных журналов), бумага для факсов, глянцевая сторона фотобумаги или пленка для лазерных принтеров (это маска будущей платы).

4. Перенос рисунка с бумаги на текстолит.

5. Травление печатной платы.

6. После окончания процесса травления аккуратно пинцетом извлечь пластинки из растворов, промыть под проточной водой и сушить на бумажном фильтре.

7. Определить влияние состава раствора- травителей на эффективность процесса травления. Представить результаты травления в виде таблицы, указав для каждого из растворов - травителей химические реакции, происходящие в них.

8. После заполнения таблицы необходимо сделать вывод об эффективности применения растворов-травителей, используемых в данной работе.

9. Подготовка материалов к отчету по лабораторной работе. Написание отчета по лабораторной работе.

10. Ознакомление с контрольными вопросами.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются процессы травления и очистки поверхностей?

2. Каковы требования к рабочим газам и условия образования летучих ком-понент в процессе травления?

3. Жидкостная очистка подложек в технологии компонентов микро-и наносистемной техники и микроэлектроники: их назначение, возможности, преимущества и недостатки.

4. Жидкостное химическое травление. Травители, стадии процесса, очистка.

5. Понятие полирующих, селективных и анизотропных травителей и процессов травления.

6. Классификация, возможности, преимущества и недостатки сухих методов обработки подложек при их очистке.

На лабораторных работах под руководством преподавателя проводятся опыты с использованием специального оборудования, оборудования и реактивов. По итогам

эксперимента составляется отчет о проделанной работе, согласно стандарту ИРНИТУ СТО 027-2015.

5.1.3 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Самостоятельная работа студентов включает проработку лекционного курса, подготовку к практическим (семинарским занятиям) и лабораторным работам, выполнение всех заявленных в рабочей программе видов самостоятельной работы. Самостоятельная работа предусматривает не только проработку материалов лекционного курса, но и их расширение в результате поиска, анализа, структурирования и представления в компактном виде современной информации из всех возможных источников.

Самостоятельная работа - это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

К основным видам индивидуальной самостоятельной работы можно отнести: подготовку к лекциям, практическим занятиям, лабораторным работам, зачетам, экзаменам, выполнение рефератов, заданий, курсовых работ и проектов, а на заключительном этапе - выполнение выпускной квалификационной работы бакалавра.

Самостоятельная работа по дисциплине «Процессы микро- и нанотехнологии» выполняется в соответствии с рабочим учебным планом направления подготовки 28.03.01 «Нанотехнология и микросистемная техника».

Целью самостоятельной работы является закрепление полученных знаний в области базовых процессов микро- и нанотехнологии, применяемых при производстве компонентов микро- и наносистемной техники.

Основными задачами, решаемыми при выполнении самостоятельной работы, являются:

- приобретение навыков использования программных средств при представлении материалов и оформлении всех видов работ;

- развитие навыков самостоятельной работы с научно-технической и справочной литературой с использованием информационных технологий.

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- изучение отдельных разделов тем дисциплины;

- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;

- подготовку к практическим (семинарским) занятиям;

- работу с интернет-источниками.

Самостоятельная работа предназначена не только для овладения дисциплиной, но и для формирования навыков самостоятельной работы вообще, в учебной, научной, профессиональной деятельности, способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решить проблему, находить конструктивные решения.

Использование консультаций при самостоятельной работе. Если в процессе самостоятельной работы над изучением теоретического материала, возникли проблемы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения у него разъяснений или указаний. При этом следует формулировать вопросы максимально конкретно.

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 семестр 7 | Отчет по лабораторной работе

Описание процедуры.

На лабораторных работах под руководством преподавателя проводятся опыты с использованием специального оборудования, химической посуды и реактивов. По итогам эксперимента составляется отчет о проделанной работе, согласно стандарту ИРНИТУ СТО 027-2015. Каждый студент оформляет отчет по лабораторной работе, независимо от выполнения данной работы в группе. Отчет по выполненной лабораторной работе должен содержать:

- тему работы;
- цель работы;
- оборудование и реактивы, использованное при проведении опытов;
- уравнения соответствующих химических реакций и расчетные данные;
- таблицы экспериментальных результатов;
- вывод с заключением о проделанной работе.

Защита отчета по лабораторной работе выполняется в виде устного ответа на контрольные вопросы, приведенные в методическом пособии для лабораторных работ. Итогом выполнения лабораторной работы является защита отчета по лабораторной работе, оценка «зачтено» и подпись преподавателя, проверившего работу.

Критерии оценивания.

Зачтено

Задание по работе выполнено в полном объеме; вывод сделан самостоятельно; даны верные ответы на контрольные вопросы. Студент свободно ориентируется в теоретическом материале, отвечает на дополнительные вопросы по теме лабораторной работы. Отчет выполнен аккуратно и в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Задание по работе выполнено в полном объеме. Студент ответил на теоретические вопросы, испытывая небольшие затруднения. Качество оформления отчета к работе не полностью соответствует требованиям.

Не зачтено Студент правильно выполнил задание к работе. Составил отчет в установленной форме, представил решения большинства заданий, предусмотренных в работе. Студент не может полностью объяснить полученные результаты.

Студент не выполнил все задания работы и не может объяснить полученные результаты. При выполнении лабораторной работы студентом допущены существенные ошибки по содержанию теоретического материала. Отчет по работе выполнен с нарушением требований действующего стандарта, в уравнениях химических реакций и расчетах допущены грубые ошибки, на контрольные вопросы даны неверные ответы.

6.1.2 семестр 7 | Решение задач

Описание процедуры.

На практических занятиях студенты получают навыки решения задач по дисциплине, что позволяет более углубленно изучить и понять теоретический материал лекций. На

практических занятиях студенты решают задачи по пройденным темам на лекции и по темам, предложенным для самостоятельного изучения. Предполагается, что в течение одного занятия студенты разбирают решение не менее 5 задач.

1. При жидкофазной эпитаксии кремния из оловянного раствора-расплава концентрация кремния в насыщенном растворе при 1000 оС составляет 5 ат. % и 2 ат. % при 900 °С. Какую толщину будет иметь эпитаксиальный слой кремния, выросший на подложке площадью $S = 10 \text{ см}^2$ при охлаждении системы от 1000 °С до 900 °С, если масса олова составляет $m = 11,86 \text{ г}$? Молярная масса олова $M_{\text{Sn}} = 118,6 \text{ г/моль}$, молярная масса кремния $M_{\text{Si}} = 28 \text{ г/моль}$, плотность кремния $\rho_{\text{Si}} = 2,32 \text{ г/см}^3$.

2. Скорость роста эпитаксиальной плёнки кремния в молекулярно-лучевой эпитаксии составляет 1 мкм/ч. Сколько времени займёт рост плёнки толщиной 100 атомных слоёв? Параметр кристаллической решётки кремния $d_{\text{Si}} = 0,543 \text{ нм}$.

3. Оцените, во сколько раз сила упругости, возникающая при росте сплошной плёнки кремния на подложке германия размером 0,5 x 0,5 см больше, чем при росте островков кремния в виде четырёхугольных пирамидок со стороной основания $d_p = 20 \text{ нм}$. Расстояние между пирамидками составляет 20 нм. Параметр кристаллической решётки кремния $a_{\text{Si}} = 0,543 \text{ нм}$, параметр кристаллической решётки германия $a_{\text{Ge}} = 0,567 \text{ нм}$.

4. При жидкофазной эпитаксии кремния из оловянного раствора-расплава концентрация кремния в насыщенном растворе изменилась на 0,01 ат. %. Общая масса раствора-расплава составляет 5,93 г, площадь подложки равна 4 см². Какова толщина выросшего эпитаксиального слоя? Ответ. 0,15 мкм.

5. Оцените, во сколько раз потенциальная энергия сплошного деформированного слоя германия на кремниевой подложке больше потенциальной энергии деформации в случае роста островков германия в виде четырёхугольных пирамидок со стороной основания $d_p = 20 \text{ нм}$. Расстояние между пирамидками составляет 20 нм, размер кремниевой подложки 0,5 x 0,5 см.

Критерии оценивания.

«отлично» - обучающимся решены все задачи, приведено рациональное решение, причем дано поэтапное решение задач, обоснованы предложенные решения, отсутствуют ошибки в расчетах;

«хорошо» - выполнены все задания, дано поэтапное решение задач, обоснованы предложенные решения, однако допущены ошибки в расчетах.

«удовлетворительно»- выполнено правильно только половина заданий;

«неудовлетворительно» - студент практически ничего не смог выполнить правильно.

6.1.3 семестр 7 | Тест

Описание процедуры.

Тест является простейшей формой контроля, направленной на проверку владения терминологическим аппаратом и конкретными знаниями по изучаемой дисциплине. Тест состоит из небольшого количества вопросов и задач; может предоставлять возможность выбора из перечня ответов; занимает часть учебного занятия (10-30 минут); правильные решения разбираются на том же или следующем занятии. Частота тестирования определяется преподавателем.

Цель тестирования - выявить уровень знаний студентов, оценить степень усвоения ими учебного курса и определить на этой основе направления дальнейшего совершенствования работы с ними, а также стимулировать активность их самостоятельной работы.

Описание процедуры:

Тест составлен из небольшого количества вопросов. Тестовые задания составлены таким образом, что нужно выбрать один вариант ответа из предложенных 3 – 4 вариантов.

Проводится тестирование на аудиторных занятиях в течение 10 – 30 минут.

Пример тестового задания

1. Какой из перечисленных ниже металлов чаще всего используется при получении наноструктурированных материалов с использованием "мягкой литографии"?

- а) Li
- б) Fe
- в) Os
- г) Be
- д) Au

2. С помощью какой методики на полимерную матрицу лучше всего наносить планарную структуру из листов графена для гибкой электроники?

- а) электродуговым распылением
- б) лазерной абляцией
- в) мягкой литографией
- г) микросферной литографией
- д) с помощью графоэпитаксии

3. Укажите правильную последовательность видов литографии в зависимости от уменьшения размера получаемых элементов интегральных схем (ИМС):

- а) Оптическая › УФ-литография › Рентгеновская › Электронно-лучевая;
- б) Электронно-лучевая › Рентгеновская › УФ-литография › Оптическая;
- в) Рентгеновская › УФ-литография › Оптическая › Электронно-лучевая;
- г) УФ-литография › Оптическая › Электронно-лучевая › Рентгеновская.

4. Вариант литографии, в котором все операции выполняются в жидкости, куда погружена оптическая система и подложка, называется:

- а) биомиметикой;
- б) квантовой механикой;
- в) нанонаблюдением;
- г) иммерсионной литографией.

5. Светочувствительный слой на кремниевой подложке, затвердевающий под воздействием света, называется:

- а) фоторезистом;
- б) маскарадом;
- в) растворителем;
- г) высокопроизводительным элементом.

6. Какая из указанных ниже методик не позволяет эффективно получать планарные наноструктуры?

- а) FIB-литография;
- б) ИК-литография;
- в) СЗМ-литография;
- г) контактная микропечать;
- д) микросферная литография.

7. Какой из параметров является наименее важным при создании полевого транзистора на основе углеродных нанотрубок?

- а) толщина диэлектрического слоя;
- б) хиральность нанотрубки;
- в) тип проводимости полупроводника;
- г) толщина слоя проводника;
- д) длина углеродной нанотрубки.

8. Что не влияет на частоту плазмонного резонанса наночастиц серебра?
- анизотропия;
 - размер;
 - модификатор поверхности;
 - наличие точечных дефектов и F-центров (центров окраски);
 - температура;
 - давление.
9. «Самосборка» квантовых точек на подложке при осаждении из газовой фазы вызвана:
- флуктуациями (модуляцией) состава питающей среды;
 - химическим взаимодействием квантовых точек с подложкой;
 - эпитаксиальным ростом пленок;
 - рассогласованием параметров решеток пленки и подложки;
 - осаждением полупроводниковых «островков» на вицинальных выходах винтовых дислокаций подложки;
 - затрудненной миграцией ростовых блоков по боковой поверхности эшелонов ростовых ступеней подложки.
10. При получении монослоев методом Лэнгмюра-Блоджетт Y-тип пленки означает:
- голова к голове, хвост к хвосту;
 - голова к хвосту;
 - хвост к голове;
 - комбинация X и Z – типов;
 - латеральное упорядочение в пленке;
 - периодически гофрированный монослой.

Критерии оценивания.

оценка «зачтено» выставляется студенту, если количество правильных ответов составляет 60 и более процентов; оценка «не зачтено» выставляется студенту, если количество правильных ответов менее 60%.

6.1.4 семестр 7 | Устный опрос

Описание процедуры.

Устный опрос позволяет оценить знания и кругозор студента, умение логически построить ответ, владение речью и иные коммуникативные навыки; позволяет выявить детали, которые по каким-то причинам оказались недостаточно осмысленными в ходе учебных занятий.

Описание процедуры:

Устный опрос проводится во время аудиторных занятий. Преподаватель продумывает вопросы с целью выяснения, как студенты усвоили теоретический материал. Устный опрос является одним из эффективных методов повышения активности студентов на занятии. Проводится фронтальный, индивидуальный и комбинированный опрос.

Тема: Производственная чистота и гигиена в процессах микро- и нанотехнологии
Вопросы для контроля:

- Введение в технологии чистоты. Определение термина «чистое помещение». Роль чистых помещений в развитии науки и техники, в частности в нанотехнологии.
- Стандарты классификации чистых помещений. Класс чистоты помещения. Классификация чистых помещений по типам воздухообмена. Турбулентные чистые помещения. Чистые помещения с однонаправленным движением воздуха.
- Принципы построения чистых помещений. История чистых помещений. Стандарты классификации чистых помещений.

4. Класс чистоты помещения. Классификация чистых помещений по типам воздухообмена. Турбулентные чистые помещения. Чистые помещения с односторонним движением воздуха. Характеристики воздухообмена.
5. Способы снижения издержек, изоляторы, мини-зоны. Конструкционные материалы для чистых помещений. Высокоэффективная фильтрация воздуха. Определение концентрации частиц.
6. Основы эксплуатации чистых помещений. Одежда для чистых помещений и дополнительные компоненты чистых помещений.

Критерии оценивания.

«отлично»: ответ содержательный, уверенный и четкий; показано свободное владение материалом различной степени сложности; при ответе на дополнительные вопросы выявляется владение материалом; допускаются один-два недочета, которые студент сам исправляет по замечанию преподавателя;

«хорошо»: твердо усвоен основной материал; ответы удовлетворяют требованиям, установленным для оценки «отлично», но при этом допускаются негрубые ошибки; делаются несущественные пропуски при изложении фактического материала; при ответе на дополнительные вопросы демонстрируется понимание требуемого материала с допущенными ошибками;

«удовлетворительно»: обучаемый знает и понимает основной материал программы, основные темы, но в усвоении материала имеются пробелы; излагает его упрощенно, с ошибками и затруднениями; изложение теоретического материала приводится с ошибками, неточно или схематично; появляются затруднения при ответе на дополнительные вопросы;

«неудовлетворительно»: отказ от ответа; отсутствие минимальных знаний по дисциплине; присутствуют грубые ошибки в ответе; практические навыки отсутствуют; студент не способен исправить ошибки даже с помощью рекомендаций преподавателя.

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ПКР-2.3	Демонстрирует знание базовых процессов микро- и нанотехнологий и способность проведения исследования данных процессов, умение провести анализ и обработку полученных результатов.	Устное собеседование по теоретическим вопросам и выполнение практических заданий.

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 7, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Промежуточная аттестация предусматривает проведение зачета, который включен в учебный план направления подготовки, и предназначен для проверки успеваемости студентов по дисциплине. Зачет студенты сдают в конце семестра в период семестровых экзаменационных сессий, по расписанию, согласно графику учебного процесса. К зачету допускаются студенты, выполнившие все лабораторные работы и успешно защитившие отчеты по ним. Студентам заранее выдаются контрольные вопросы к зачету. В процессе сдачи зачета студент получает билет, который содержит три теоретических вопроса и задачу.

Пример задания:

Контрольные вопросы для подготовки к зачету:

1. Микро- и наносистемная техника: характерные черты, тенденции развития, объем и номенклатура выпускаемой продукции. Понятие термина «высокие технологии» применительно к промышленности в целом и микро- и наносистемной технике, в частности.
2. Факторы, влияющие на ограничения размеров элементов интегральных схем и возможные пути их преодоления. Фундаментальные пределы миниатюризации. Закон Мура, его обобщение и новые перспективы.
3. Классификация процессов микро- и нанотехнологии по физико-химической сущности; виду процесса; способу активации.
4. Чистые помещения. Производственная чистота технологического процесса. Чистота в производстве приборов и компонентов микро-и наносистемной техники и ИМС. Чистота технологических сред. Области применения чистых помещений.
5. Чистые комнаты. Что такое класс чистоты помещения и как он определяется. Принцип работы чистой комнаты. Организация чистых комнат. Распределение технологических процессов по помещениям с определенным классом чистоты. Назначение операций очистки в технологии компонентов микро-и наносистемной техники, наноэлектронике; типы загрязнений и их источники.
6. Общая классификация методов очистки подложек, их назначение и возможности. Преимущества и недостатки различных методов очистки подложек.
7. Жидкостная очистка подложек в технологии компонентов микро-и наносистемной техники и микроэлектроники: их назначение, возможности, преимущества и недостатки. Понятие полирующих, селективных и анизотропных травителей и процессов травления.
8. Классификация, возможности, преимущества и недостатки сухих методов обработки подложек при их очистке.
9. Классификация пленок и основных методов их получения. Особенности процесса нанесения пленок в вакууме. Влияние вакуума на процесс нанесения пленок. Технологии формирования слоев нанометровой толщины.
10. Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ). Принципиальные элементы установки МПЭ. Механизм эпитаксии. Эпитаксиальное наращивание полупроводниковых слоев. Эпитаксиальные технологии полупроводниковых гетероструктур. Определение эпитаксиального наращивания слоев. Понятие гомоэпитаксии (автоэпитаксии), хемоэпитаксии, гетероэпитаксии.
11. Физико-химическая сущность газофазной эпитаксии, как классического примера гетерогенного процесса (рассмотреть стадии этого гетерогенного процесса и возможные

- лимитирующие стадии). Факторы, от которых зависит скорость роста эпитаксиального слоя и его качество.
12. Жидкофазная эпитаксия: определение, назначение, область применения, преимущества и недостатки.
 13. Твердофазная эпитаксия: определение, назначение, область применения, преимущества и недостатки. Эндотаксия.
 14. Вакуумные методы получения пленок металлов и диэлектриков. Термическое испарение в вакууме. Катодные методы распыления: катодное распыление, магнетронное распыление. Преимущества и недостатки данных методов.
 15. Ионно – плазменное распыление в микро-и наноэлектронике, наносистемной технике. Преимущества и недостатки данного метода. Методы определения толщины пленок.
 17. Электрохимическое осаждение металлов и полупроводников. Суть метода электрохимического осаждения материалов. Законы Фарадея для электрохимического осаждения материалов. Параметры процесса электрохимического осаждения и свойства сформированных таким образом пленок. Особенности электрохимического осаждения полупроводниковых соединений. Какие подходы используют для формирования наноструктур — нанопроволок, нанотрубок и наноточек — электрохимическим осаждением материалов. Основные достоинства и недостатки метода электрохимического осаждения материалов.
 18. Электролитический способ осаждения пленок. Электрофоретические покрытия. Механические методы получения пленок. Керамический синтез пленок.
 19. Литография. Определение, возможности литографии, достоинства и недостатки, стадии литографической обработки как последовательности основных и вспомогательных технологических операций. Основные виды литографии.
 20. Классификация литографических процессов: в зависимости от способа переноса изображения на подложку, в зависимости от типа используемого резиста, в зависимости от длины волны используемого излучения. Анализ факторов, обуславливающих широкое использование литографии в технологии микро- и наносистемной техники, микро- и наноэлектроники.
 21. Технологическая схема процесса фотолитографии. Назначение, физическая сущность и технология основных этапов процесса фотолитографии.
 22. Назначение фоторезистов и их типы, применяемых в технологии изготовления различных типов микросхем и печатных плат. Функции, выполняемые фоторезистами в процессе фотолитографии.
 23. Физико-химическая сущность экспонирования и проявления различных типов фоторезистов. Понятие проекционной и контактной фотолитографии. Определение основных параметров фоторезистов: светочувствительность, разрешающая способность, кислотостойкость (фактор травления), адгезия к подложке, технологичность.
 23. Основные методы нанесения и сушки фоторезиста. Сравнительная характеристика этих методов, области их применения в технологии микро- и наноэлектроники. Особенности операций сушки при использовании в технологии различных типов фоторезистов.
 24. Способы удаления слоя фоторезиста с подложки: сравнительная характеристика различных способов с указанием последовательности операций, используемого оборудования и материалов (сырья).
 24. Иммерсионная литография.
 25. Процесс «взрывной» литографии. Сущность процесса. Преимущества и недостатки.
 26. Рентгеновская литография: определение, особенности реализации, преимущества и недостатки по сравнению с фотолитографией. Способы переноса изображения с рентгеношаблона на рабочую площадь подложек. Рентгенорезисты, их свойства и

характеристики.

27. Электронно-лучевая литография: определение, особенности реализации, преимущества и недостатки по сравнению с фотолитографией. Способы непосредственного формирования элементов изображения на полупроводниковых подложках.
28. Нанолитография в современном понимании. Нанолитография в области глубокого (DUV) и экстремального ультрафиолетового излучения (EUV).
29. Лазерно-интерференционная нанолитография (ЛИН). Сухая нанолитография. Атомная нанолитография. Плазменная нанолитография. Литография наносферами.
30. Dip-Pen нанолитография. Nano-Pen литография. Термомеханическая нанолитография. Муаровая нанолитография.
31. Наноимпринт-литография, S-FILL-технология.
32. Графеновые нанотехнологии.
33. Технология производства структур «Кремний-на – сапфире» и перспективы их применения в микро-, наноэлектронике и микросистемной технике.
34. Технология производства структур "кремний-на-изоляторе" и перспективы их применения в микро-, наноэлектронике и микросистемной технике.

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
<p>Зачтено</p> <p>выставляется при условии, если студент выполнил и защитил все лабораторные работы и показывает хорошие знания изученного теоретического материала; самостоятельно, логично и последовательно излагает и интерпретирует материалы учебного курса; полностью раскрывает смысл предлагаемого вопроса; владеет основными терминами и понятиями изученного курса; успешно справляется с практическим заданием; показывает умение применять полученные теоретические знания на практике.</p>	<p>Зачтено</p> <p>выставляется при условии, если студент выполнил и защитил все лабораторные работы и показывает хорошие знания изученного теоретического материала; самостоятельно, логично и последовательно излагает и интерпретирует материалы учебного курса; полностью раскрывает смысл предлагаемого вопроса; владеет основными терминами и понятиями изученного курса; успешно справляется с практическим заданием; показывает умение применять полученные теоретические знания на практике.</p>

7 Основная учебная литература

1. Фахльман Б. Химия новых материалов и нанотехнологии : учебное пособие / Б. Фахльман, 2011. - 463.
2. Золь-гель технология микро-и нанокompозитов : учебное пособие для вузов по направлениям 210100 "Электроника и наноэлектроника" и 222900 "Нанотехнологии и микросистемная техника" / В. А. Мошников [и др.], 2013. - 292.
3. Лозовский В. Н. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность : учебное пособие для вузов по специальности 210601 - "Нанотехнология в электронике" / В. Н. Лозовский, Г. С. Константинова, С. В. Лозовский, 2008. - 327.

4. Старостин В. В. Материалы и методы нанотехнологии : учебное пособие для вузов по направлению "Нанотехнология" / В. В. Старостин, 2010. - 431.
5. Рамбиди Н. Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н. Г. Рамбиди, А. В. Березкин, 2009. - 454.
6. Рамбиди Н. Г. Структура и свойства наноразмерных образований: реалии сегодняшней нанотехнологии : учебное пособие / Н. Г. Рамбиди, 2011. - 375.
7. Лозовский В. Н. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность : учебное пособие / В. Н. Лозовский, С. В. Лозовский, 2019. - 332.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Наноэлектроника: теория и практика : учебник для вузов по специальностям "Микро- и наноэлектронные технологии и системы", "Квантовые информационные системы", "Нанотехнологии и наноматериалы в электронике" / В. Е. Борисенко [и др.], 2013. - 366.
2. Халл М. Нанотехнологии и экология: риски, нормативно-правовое регулирование и управление : переводное издание / М. Халл, Д. Боумен, 2013. - 344.
3. Нанотехнологии в электронике / под ред. Ю. А. Чаплыгина. Вып. 3, 2015. - 479.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Microsoft Office 2007 VLK (поставки 2007 и 2008)
2. Microsoft Windows Seven Professional (Microsoft Windows Seven Starter) - Seven, Vista, XP_prof_64, XP_prof_32 - поставка 2010

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Весы аптечные ВА-4М
2. Весы аптечные ВА-4М
3. Весы лабораторные ВК-1500
4. Весы аналитические "LEKI B1604"
5. Центрифуга для пробирок

6. Спектрофотометр однолучевой сканирующий "UNICO UV-2800"
7. шкаф для приборов /ЛАБ-800 ШПр
8. шкаф для приборов /ЛАБ-800 ШПр
9. шкаф вытяжной ЛАБ-1200
10. шкаф вытяжной ЛАБ-1200
11. стол островной химический ЛАБ-1500