

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»
Институт физики

УТВЕРЖДАЮ
Директор Института физики,
д.ф.-м.н., профессор
С.Б. Вениг
"21" сентября 2021 г.

Рабочая программа дисциплины
Технология материалов и структур электроники

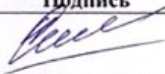
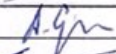
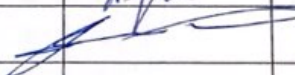
Направление подготовки бакалавриата
11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Профиль подготовки бакалавриата
**«Физика и технология твердотельных
электронных микро- и наноструктур»**

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
очная

Саратов,
2021 г.

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	Синёв И.В.		21.09.21
Председатель НМК	Скрипаль Ан.В.		21.09.21
Заведующий кафедрой	Вениг С.Б.		21.09.21
Специалист Учебного управления			

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Технология материалов и структур электроники» является развитие у обучающихся знаний и умений использования традиционных и новых технологических процессов, операций, оборудования в профессиональной деятельности, что должно способствовать формированию у студентов комплекса профессиональных знаний и умений (владений), необходимых для развития профессиональных навыков в производственно-технологической деятельности при выполнении теоретических и экспериментальных исследований, математическом и компьютерном моделировании, проектировании, конструировании, технологии производства, использовании и эксплуатации материалов, компонентов, электронных приборов, устройств, установок вакуумной, плазменной, твердотельной, микроволновой, оптической, микро- и нанoeлектроники различного функционального назначения.

Задачами освоения дисциплины являются:

- формирование и углубление знаний традиционных и новых технологических процессов, операций, оборудования, которые непосредственно касаются возможности практической реализации нормативных и методических материалов по технологической подготовке производства, качеству, стандартизации и сертификации изделий и процессов с элементами экономического анализа и учетом правил техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и норм охраны труда;
- формирование умений применять полученные знания к решению практических задач, выполнению теоретически исследований, выработке организационно-технических решений, касающихся основных типов современных конструкционных и функциональных неорганических (металлических и неметаллических) и органических (полимерных и углеродных) материалов; композитов и гибридных материалов; сверхтвердых материалов; интеллектуальных и наноматериалов, пленок и покрытий, методов и средства контроля качества материалов, пленок и покрытий, полуфабрикатов, заготовок, деталей и изделий, технологических процессов производства, обработки и модификации материалов и покрытий, деталей и изделий; оборудования, технологической оснастки и приспособлений; систем управления технологическими процессами;
- формирование владений навыками использования традиционных и новых технологических процессов, операций, оборудования, нормативных и методических материалов по технологической подготовке производства, качеству, стандартизации и сертификации изделий и процессов с элементами экономического анализа и учетом правил техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и норм охраны труда.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Технология материалов и структур электроники» относится к обязательной части блока 1 «Дисциплины (модули)» и изучается студентами очной формы обучения института физики СГУ, обучающимися по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» по профилю «Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур», в течение 7 учебного семестра. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные и получаемые студентами в этом же семестре знания по курсам «Термодинамика», «Кристаллография и кристаллофизика», «Организация и планирование производства», «Материалы электронной техники и нанoeлектроники», «Физико-химические основы технологии электроники и нанoeлектроники», а также на знания и умения, приобретённые при прохождении «Ознакомительной» и «Технологической» практик и подготавливает студентов к изучению в следующем семестре дисциплины «Микроэлектроника и нанoeлектроника», к выполнению выпускной квалификационной работы, а также к освоению ряда дисциплин при продолжении обучения в магистратуре.

3. Результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
<p>ОПК-1. Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности</p>	<p>1.1_Б.ОПК-1. Понимает важность применения фундаментальных законов природы и основных физических и математических законов.</p> <p>2.1_Б.ОПК-1. Аргументированно применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера.</p> <p>3.1_Б.ОПК-1. Использует знания физики и математики при решении конкретных задач инженерной деятельности.</p>	<p>Знать: физико-химические основы технологии материалов и структур электроники</p> <p>Уметь: применять положения, законы и методы естественных наук при анализе технологических процессов производства материалов и структур электронной техники</p> <p>Владеть: навыками решения технологических задач на основе знаний физики и математики.</p>
<p>ОПК-2. Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных</p>	<p>1.1_Б.ОПК-2. Находит и критически анализирует информацию, необходимую для решения поставленной задачи.</p> <p>2.1_Б.ОПК-2. Рассматривает возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки.</p> <p>3.1_Б.ОПК-2. Формулирует в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения выделенных задач.</p> <p>4.1_Б.ОПК-2. Аргументированно выбирает способы и средства измерений и проведения экспериментальных исследований.</p> <p>5.1_Б.ОПК-2. Способен применять методы обработки и представления полученных данных и оценки погрешности ре-</p>	<p>Знать: принципы анализа технологических процессов.</p> <p>Уметь: выделять лимитирующую стадию технологического процесса.</p> <p>Владеть: методами планирования технологического эксперимента.</p>

<p>ПК-2 Способен реализовывать на практике контроль соблюдения параметров и режимов технологических операций процессов производства изделий микроэлектроники</p>	<p>зультатов измерений.</p> <p>1.1_Б. ПК-2. Проводит критический анализ основных параметров реализуемых технологических процессов производства изделий микроэлектроники.</p> <p>2.1_Б. ПК-2. Оперативно решает технологические проблемы в процессе производства изделий микроэлектроники.</p> <p>3.1_Б. ПК-2. Выявляет технологические факторы, вызывающие погрешности изготовления изделий микроэлектроники.</p>	<p>Знать: основные параметры технологических процессов производства изделий микроэлектроники.</p> <p>Уметь: выявлять технологические факторы, определяющие качество изделий микроэлектроники</p> <p>Владеть: методами контроля параметров технологических операций процессов производства изделий микроэлектроники</p>
<p>ПК-3 Способен аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику теоретического и экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p>	<p>1.1_Б. ПК-3. Аргументированно применяет методики проведения теоретических и экспериментальных исследований параметров и характеристик узлов и блоков установок электроники и наноэлектроники.</p> <p>2.1_Б. ПК-3. Решает конкретные задачи по проведению исследований характеристик электронных приборов различного функционального назначения.</p> <p>3.1_Б. ПК-3. Обрабатывает и анализирует результаты теоретических и экспериментальных исследований, определяет элементы новизны в разработке</p>	<p>Знать: ключевые параметры и характеристики приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p> <p>Уметь: экспериментально исследовать параметры и характеристики приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p> <p>Владеть: навыками экспериментального и теоретического исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p>

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					СРС	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лек	Лабораторные		Пр	СРС		
					Общая трудоемкость	Из них – практическая подготовка				
1.	История, движущие силы и тенденции развития технологии новых материалов и структур.	7	1	1				2	Устный опрос	
2	Физические и физико-химические основы технологических процессов.	7	1	1				2	Устный опрос на лабораторных занятиях	
3	Технологии измельчения, разделения и очистки материалов	7	2	2	6	6	2	4	Устный опрос на практических занятиях	
4	Методы выращивания монокристаллов.	7	3	2				2	Устный опрос на лабораторных занятиях	
5.	Технология некристаллических материалов.	7	4	2			2	2	Устный опрос на лабораторных и практических занятиях	
6.	Технология производства пластин и подложек.	7	5	1	6	6		2	Устный опрос на лабораторных занятиях	
7.	Очистка поверхности после механической обработки.	7	5	1	4	4	2	2	Устный опрос на практических занятиях	
8.	Технология формирования эпитаксиальных структур.	7	6	1				2	Устный опрос на лабораторных занятиях	
9.	Диффузионное перераспределение вещества.	7	6	1	6	6	2	2	Устный опрос на практических занятиях	
10	Окисление кремниевых пластин.	7	7	1	6	6		4	Устный опрос на лабораторных занятиях	

11.	Основы плазменных и ионных технологий.	7	7	1	6	6		4	Устный опрос
12.	Технология ионного легирования.	7	8	2				2	Устный опрос на лабораторных занятиях
13.	Формирование тонких пленок.	7	9	2	6	6	2	4	Устный опрос на практических занятиях
14.	Электрохимические процессы в технологии микро и наноструктур.	7	10	2	4	4		2	Устный опрос на лабораторных занятиях
15.	Технологии формирования и переноса рисунка.	7	11	2	6	6	2	4	Устный опрос на практических занятиях
16.	Методы нанолитографии	7	12	2				2	Устный опрос на лабораторных занятиях
17.	Технологии сборки, пассивации и защиты.	7	13	2			2	2	Устный опрос на практических занятиях.
18	Особенности технологии наноматериалов и наноструктур.	7	14	2				8	Устный опрос на лабораторных занятиях. Контрольная работа
	Итого:		14	28	50	50	14	52	
	Контроль				36				
	Промежуточная аттестация								Экзамен Зачёт
	Общая трудоемкость дисциплины				180				

Содержание дисциплины

- 1. История, движущие силы и тенденции развития технологии новых материалов и структур.** Микро- и нанотехнологии. Технологии от нано к био и от био к нано. Социально-экономические последствия развития технологии новых материалов, микро и нанотехнологий. Перспективы, потенциальные опасности и этические аспекты развития новых технологий. Технология материалов и структур электроники как совокупность способов и процессов. Основные стадии. Методы анализа технологических процессов. Производственная гигиена. Чистота материалов и помещений. Классификация материалов по чистоте. Маркировка материалов. Основные и вспомогательные материалы в микро и нанотехнологиях.
- 2. Физические и физико-химические основы технологических процессов.** Движущие силы технологического процесса. Массо- и теплопередача в гетерогенных системах. Явления на границах раздела фаз и фазовые переходы. Гидродинамический, тепловой и диффузионный пограничные слои. Химические превращения в гетерогенных системах. Лимитирующая стадия технологического процесса. Активное состояние. Метастабильные состояния. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. Особенности зародышеобразования и роста кристаллов и пленок из пара, жидкости и твердой фазы. Влияние примесей и дефектов на зародышеобразование и рост.
- 3. Технологии измельчения, разделения и очистки материалов.** Механическое измельчение и разделение материалов по фракциям. Сорбционные процессы. Ионный обмен. Хроматография. Жидкостная экстракция. Ректификация. Химические транспортные реакции. Электрохимические методы очистки. Разделение в силовых полях. Направленная кристаллизация.
- 4. Методы выращивания монокристаллов.** Направленная кристаллизация, вытягивание из расплава, зонная плавка, выращивание из раствора, кристаллизация на реальных поверхностях. Распределение примесей и дефекты при зонной плавке, направленной кристаллизации и вытягивании из расплава. Методы выравнивания состава. Радиационное легирование. Профилирование. Примеры: технология монокристаллического кремния, технология арсенида галлия.
- 5. Технология некристаллических материалов.** Стекла. Механизм размягчения и плавления. Виды стекол. Силикатное стекло. Стекловарение оксидных стекол. Получение пленок стекла. Керамики и ситаллы. Подготовка массы. Формование. Сушка. Обжиг. Механизм спекания.
- 6. Технология производства пластин и подложек.** Подготовительные операции в производстве интегральных схем. Абразивная обработка. Механизм возникновения трещин и разрушения кристаллов. Нарушенный слой после механической обработки. Типы и основные характеристики подложек. Резка слитков и изготовление пластин. Шлифовка и полировка пластин. Скрайбирование и разлом пластин.
- 7. Очистка поверхности после механической обработки.** Химическая обработка пластин. Полирующие и анизотропные травители. Локальное и локально-анизотропное травление. Селективность травления. Травление оксида и нитрида кремния. Промывка пластин в воде. Ограничения жидкостного травления. Химико-механическое полирование. Жидкостное, термохимическое газовое и плазмохимическое травление. Полирующее травление в парогазовых смесях. Вакуумно-термическое испарение.
- 8. Технология формирования эпитаксиальных структур.** Методы получения эпитаксиальных пленок кремния (хлоридный, пиролиз моносилана). Гетероэпитаксия кремния. Молекулярно лучевая эпитаксия. Особенности эпитаксии из газовой, жидкой и твердой фаз.
- 9. Диффузионное перераспределение вещества.** Распределение примесей при диффузии. Источники примесей. Легирование диффузией. Граничные условия. Методы реализации. Диффузионные структуры. Стимулирование диффузии. Радиационно-стимулированная

- диффузия. Электродиффузия. Технология диффузионных процессов получения легированных слоев. Границы раздела при получении легированных эпитаксиальных слоев.
10. **Окисление кремниевых пластин.** Высокотемпературное окисление кремния. Адсорбция. Переход адсорбированных частиц в кристаллическую решетку. Диффузия. Фазовые превращения при окислении. Кинетика окисления. Особенности высокотемпературного окисления кремния сухим и влажным кислородом. Анодное окисление. Структура оксида.
 11. **Основы плазменных и ионных технологий.** Классификация и особенности методов обработки материалов в плазме и пучках энергетических частиц. Воздействие пучков электронов, атомов и ионов на поверхность и объем мишени. Вторичные эффекты в мишени. Упругое и неупругое рассеяние электронов. Энергетические потери. Пробег. Обратное рассеяние. Вторичные электроны. Рентгеновское излучение. Виды электрических разрядов в газе. Потенциалы в плазме. Источники ионов. Источники электронов. Процессы, сопровождающие травление в плазме. Создание химически активных частиц в плазме. Доставка частиц к поверхности и кинетика травления. Загрузочный эффект. Механизм травления кремния, оксида и нитрида кремния в плазме. Распыление твердых тел ионами.
 12. **Технология ионного легирования.** Пробег ионов в кристаллических и аморфных материалах. Маскирование при ионном легировании. Распределение внедренных ионов. Дефектообразование при имплантации. Влияние радиационных дефектов на структуру поверхности. Виды дефектов. Образование. Миграция. Влияние на диффузию и свойства материалов. Технологии стабилизации свойств материала. Методы отжига дефектов после ионного легирования. Лазерный отжиг. Электронно-лучевой отжиг. Лазерное и электронно-лучевое перемешивание. Точечные дефекты в поле упругих деформаций. Геттерирование точечных дефектов.
 13. **Формирование тонких пленок.** Оборудование и методы нанесения пленок в вакууме, молекулярных пучках, химическим осаждением из газовой фазы, жидкофазной эпитаксией, атомно-молекулярной сборкой. Формирование тонких пленок ионно-плазменным распылением. Метод магнетронного распыления. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Формирование диэлектрических пленок. Термическое окисление кремния. Плазмохимическое получение пленок нитрида и оксида кремния. Формирование проводящих пленок. Материалы для металлизации. Технология многоуровневой разводки.
 14. **Электрохимические процессы в технологии микро и наноструктур.** Анодное растворение. Анодное окисление. Катодное осаждение. Темплатное осаждение наноразмерных объектов.
 15. **Технологии формирования и переноса рисунка.** Виды литографии. Основные этапы процесса фотолитографии. Технология изготовления фотошаблонов. Дефекты фотошаблонов. Основные системы экспонирования. Контактная и проекционная литография. Фоторезисты, методы их нанесения и обработки. Ограничения разрешающей способности при фотолитографии. Фотолитография в глубокой ультрафиолетовой области.
 16. **Методы нанолитографии.** Электронолитография. Электронорезисты. Ионная литография. Рентгенолитография. Источники излучения в фотолитографии, рентгеновской литографии и электронно-лучевой литографии. Силовая и токовая зондовые литографии. Контактное формирование нанорельефа. Профилирование резистов сканирующими зондами. Локальная глубинная модификация поверхности. Термомеханическая нанолитография. Нанопечать. Перьевая нанолитография. Литография наносферами. Литографически индуцированная самосборка наноструктур. Сопоставление методов нанолитографии.
 17. **Технологии сборки, пассивации и защиты.** Герметизация в металлических, пластмассовых, керамических корпусах. Процессы сварки и пайки в технологии микроэлектроники.
 18. **Особенности технологии наноматериалов и наноструктур.** Размерные эффекты и условия их проявления. Кластеры. Наночастицы. Нанопорошки. Наноструктуры. Тонкие пленки. Методы получения нанопорошков. Технологии формирования наноструктур. Зондовые технологии. Саморегулирующиеся процессы. Технологии формирования приборов микро- нано- и оптоэлектроники, микро и нано- машин.

Примерная тематика практических занятий (семинаров)

1. Технологии измельчения, разделения и очистки материалов
2. Методы выращивания монокристаллов.
3. Технология некристаллических материалов.
4. Технология производства пластин и подложек. Очистка поверхности после механической обработки.
5. Основы плазменных и ионных технологий.
6. Формирование тонких пленок.
7. Технологии формирования и переноса рисунка.
8. Технологии сборки, пассивации и защиты.
9. Технологии формирования наноструктур, приборов микро- нано- и оптоэлектроники, микро и нано- машин

Перечень лабораторных работ (примерный)

1. Измерение плотности дислокаций и дефектов в эпитаксиальных пленках.
2. Определение толщины эпитаксиального слоя методом сферического шлифа.
3. Анодное окисление кремния.
4. Высокотемпературное окисление кремния.
5. Диффузия бора в кремнии.
6. Травление кремния.
7. Изготовление термопары в дуговом разряде.
8. Термокомпрессия.
9. Очистка и контроль очистки подложек.
10. Фотолитография.
11. Ионная очистка подложек.
12. Магнетронное распыление диэлектрических мишеней.
13. Электроннолучевое напыление тонких пленок металла.

Описания лабораторных работ даны в учебном пособии:

Технология материалов электронной техники : лаб. практикум : учеб. пособие для студентов фак. нано- и биомед. технологий / под общ. ред. С. В. Стецюра, Е. Г. Глуховского ; Саратов. гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского. - Саратов : ООО "Ред. журн. "Промышленность Поволжья" : Изд. дом "GrishineL", 2008. - 174 с. (хранится в библиотечном фонде кафедры материаловедения, технологии и управления качеством)

5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

При реализации различных видов учебной работы (лекции, лабораторные и практические занятия, самостоятельная работа) используются следующие современные образовательные технологии:

- Информационно-коммуникационные технологии;
- Проблемное обучение.

Лекционные занятия проводятся в основном в традиционной форме. До 15% лекционных часов отводится для встреч с представителями российских и зарубежных компаний, государственных и общественных организаций. При проведении части лекционных, семинарских и практических занятий используется ПК и мультимедийный проектор.

С целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся не менее 75% аудиторных часов, отведенных на практические (семинарские) занятия проводятся в интерактивной форме. В активной форме проводится разбор конкретных ситуаций, детальный анализ физических основ технологии материалов и структур в соответствии с приведенным ниже списком тем (по выбору преподавателя).

Практическая подготовка при реализации данной дисциплины направлена на формирование практических навыков и компетенций по профилю образовательной программы в процессе выполнения лабораторных работ, в ходе которых студенты осваивают приемы предварительной обработки подложек, нанесения тонких слоев и их контроля, и других технологических операций. Практические навыки формируются в результате самостоятельного выполнения технологических операций под руководством инженеров учебно-научной лаборатории технологии материалов и покрытий.

Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья:

- предоставление инвалидам по зрению или слабовидящим возможностей использовать крупноформатные наглядные материалы;
- организация коллективных занятий в студенческих группах с целью оказания помощи в получении информации инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья.
- использование индивидуальных графиков обучения
- использование дистанционных образовательных технологий

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

В преподавании дисциплины «Технология материалов и структур электроники» используются контрольные задания учебных пособий, перечень которых приведен в п. а) раздела 8.

При выполнении самостоятельной работы обучающийся сначала прорабатывает материал лекций и практических занятий, затем литературу в части, соответствующей графику изучения дисциплины (раздел 4). После этого обучающийся выполняет задания для самоконтроля из рекомендованных учебных пособий и решает назначенные преподавателем задачи.

Текущий контроль самостоятельной работы осуществляется во время проведения практических занятий, промежуточная аттестация в конце семестра. Оценочными средствами для текущего контроля успеваемости являются контрольные задания из учебных пособий, рекомендованных в качестве основной литературы.

Аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в форме зачета и экзамена по окончании курса (7 сем). Зачет выставляется по итогам работы на семинарах и успешного выполнения лабораторных работ, что подразумевает систематическую активную работу студентов на семинарах, удовлетворительные ответы студентов на вопросы, возникающие при обсуждении тем семинаров, отчет студентов по темам пропущенных семинаров, успешный отчет студентов по итогам выполнения лабораторных работ в соответствии с заданиями и контрольными вопросами, приведенными в методических указаниях по выполнению лабораторных работ (Описания лабораторных работ даны в учебном пособии: Технология материалов электронной техники : лаб. практикум : учеб. пособие для студентов фак. нано- и биомед. технологий / под общ. ред. С. В. Стецюра, Е. Г. Глуховского ; Саратов. гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского. - Саратов : ООО "Ред. журн. "Промышленность Поволжья" : Изд. дом "GrishineL", 2008. - 174 с.).

Оценочными средствами для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины являются контрольные вопросы, приведенные ниже в разделе «**Вопросы для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**».

Самостоятельная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего периода изучения и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям и практиче-

ским занятиям, в выполнении заданий лектора. Самостоятельная работа обучающихся проводится в соответствии со структурой и содержанием дисциплины (раздел 4) и складывается из проработки лекционного материала, материала практических занятий, рекомендуемой литературы (раздел 8), выполнения контрольных заданий учебных пособий, разбора и решения задач из рекомендуемых в разделе 8 задачников, подготовке к семинарским (практическим) занятиям. Самостоятельная работа выполняется в разнообразных формах в следующем порядке. Сначала прорабатывается материал лекций. Результаты освоения лекционного материала используются при изучении теоретического материала соответствующего раздела учебника, рекомендованного в качестве основной литературы. Расширение и углубление знаний и понимания проводится с помощью дополнительно рекомендованной литературы. Самоконтроль приобретенных знаний осуществляется путем выполнения заданий основного учебника, приведенных в конце каждого раздела и решения задач по теме из основного рекомендованного задачника. Наконец проводится подготовка к текущему контролю освоения дисциплины в форме устного опроса на семинарах. Подготовка проводится путем составления ответов на вопросы, приведенные выше в настоящем разделе.

Контрольные вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины выбираются из приведенного ниже списка в соответствии со структурой и содержанием дисциплины (раздел 4).

Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала лекций разбирать вопросы, изложенные в каждой очередной лекции, по непонятым деталям консультироваться у лектора, читать соответствующую литературу;

- при подготовке к семинарским занятиям пользоваться рекомендациями преподавателя, ведущего семинары, готовить краткий конспект по вопросам темы, изучать рекомендуемую преподавателем литературу;

- задания, которые даются лектором во время лекции по отдельным вопросам, обязательны для выполнения, и качество их выполнения будет проверяться во время зачета и экзамена.

Вопросы для текущего контроля в форме устного опроса на лабораторных и практических занятиях

1. Перспективы, потенциальные опасности и этические аспекты развития новых технологий.
2. Чистота материалов и помещений.
3. Классификация материалов по чистоте.
4. Маркировка материалов.
5. Основные и вспомогательные материалы в микро и нанотехнологиях.
6. Массо- и теплопередача в гетерогенных системах.
7. Явления на границах раздела фаз и фазовые переходы.
8. Химические превращения в гетерогенных системах.
9. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование.
10. Механическое измельчение и разделение материалов по фракциям.
11. Сорбционные процессы.
12. Ионный обмен.
13. Хроматография.
14. Жидкостная экстракция.
15. Ректификация.
16. Электрохимические методы очистки.
17. Направленная кристаллизация.
18. Распределение примесей и дефекты при зонной плавке, направленной кристаллизации и вытягивании из расплава.

19. Радиационное легирование.
20. Технология монокристаллического кремния.
21. Технология арсенида галлия.
22. Механизм размягчения и плавления.
23. Силикатное стекло.
24. Получение пленок стекла.
25. Керамики и ситаллы.
26. Механизм спекания.
27. Механизм возникновения трещин и разрушения кристаллов.
28. Нарушенный слой после механической обработки.
29. Типы и основные характеристики подложек.
30. Резка слитков и изготовление пластин.
31. Шлифовка и полировка пластин.
32. Крайбирование и разлом пластин.
33. Химическая обработка пластин.
34. Полирующие и анизотропные травители.
35. Локальное и локально-анизотропное травление.
36. Селективность травления. Травление оксида и нитрида кремния.
37. Ограничения жидкостного травления.
38. Химико-механическое полирование.
39. Жидкостное, термохимическое газовое и плазмохимическое травление.
40. Методы получения эпитаксиальных пленок кремния (хлоридный, пиролиз моносила-на).
41. Гетероэпитаксия кремния.
42. Молекулярно лучевая эпитаксия.
43. Особенности эпитаксии из газовой, жидкой и твердой фаз.
44. Распределение примесей при диффузии.
45. Источники примесей.
46. Легирование диффузией.
47. Диффузионные структуры.
48. Радиационно-стимулированная диффузия.
49. Электродиффузия.
50. Высокотемпературное окисление кремния.
51. Адсорбция.
52. Фазовые превращения при окислении.
53. Кинетика окисления.
54. Особенности высокотемпературного окисления кремния сухим и влажным кислородом.
55. Анодное окисление.
56. Классификация и особенности методов обработки материалов в плазме и пучках энергетических частиц.
57. Воздействие пучков электронов, атомов и ионов на поверхность и объем мишени. Вторичные эффекты в мишени.
58. Потенциалы в технологической плазме.
59. Источники ионов.
60. Источники электронов.
61. Процессы, сопровождающие травление в плазме.
62. Загрузочный эффект.
63. Механизм травления кремния, оксида и нитрида кремния в плазме.
64. Распыление твердых тел ионами.
65. Пробег ионов в кристаллических и аморфных материалах.
66. Маскирование при ионном легировании.

67. Распределение внедренных ионов.
68. Дефектообразование при имплантации.
69. Влияние радиационных дефектов на структуру поверхности.
70. Методы отжига дефектов после ионного легирования..
71. Оборудование и методы нанесения пленок в вакууме, молекулярных пучках, химическим осаждением из газовой фазы, жидкофазной эпитаксией, атомно-молекулярной сборкой.
72. Метод магнетронного распыления.
73. Молекулярно лучевая эпитаксия.
74. Материалы для металлизации.
75. Технология многоуровневой разводки.
76. Анодное растворение.
77. Анодное окисление.
78. Катодное осаждение.
79. Темплатное осаждение наноразмерных объектов.
80. Виды литографии.
81. Основные этапы процесса фотолитографии.
82. Технология изготовления фотошаблонов.
83. Дефекты фотошаблонов.
84. Основные системы экспонирования.
85. Фоторезисты, методы их нанесения и обработки.
86. Ограничения разрешающей способности при фотолитографии.
87. Фотолитография в глубокой ультрафиолетовой области.
88. Электронолитография.
89. Ионная литография.
90. Рентгенолитография.
91. Источники излучения в фотолитографии, рентгеновской литографии и электронно лучевой литографии.
92. Силовая и токовая зондовые литографии.
93. Контактное формирование нанорельефа.
94. Профилирование резистов сканирующими зондами.
95. Локальная глубинная модификация поверхности.
96. Термомеханическая нанолитография.
97. Нанопечать.
98. Перьевая нанолитография.
99. Литография наносферами.
100. Литографически индуцированная самосборка наноструктур.
101. Герметизация в металлических, пластмассовых, керамических корпусах.
102. Процессы сварки и пайки в технологии микроэлектроники.

Задания для контрольной работы (примерные)

1. Обосновать выбор метода разделения следующих веществ:
 - этиловый и метиловый спирт;
 - коллоидные частицы серебра в воде;
 - эмульсия масла в воде;
 - вода, четыреххлористый углерод.
2. Рассчитать степень разделения бинарного раствора методом дистилляции для указанных начальных концентраций и целевого выхода продукта.
3. Обосновать выбор экстрагента при жидкостной экстракции для извлечения следующего вещества из воды:
 - уксусная кислота;
4. Описать метод выращивания монокристаллов:

- Метод Чохральского;
 - Метод Бриджмена;
 - Метод направленной кристаллизации;
 - Метод зонной плавки;
 - Гидротермальный метод.
5. Рассчитать толщину оксида кремния сформированного термическим окислением при заданном режиме:
 - время 20 мин, температура 950°C, пары воды;
 - время 30 мин, температура 850°C, сухой кислород;
 - время 40 мин, температура 1000°C, влажный кислород.
 6. Обосновать выбор технологического режима диффузионного легирования для получения заданной глубины р-п перехода:
 - Исходное легирование – бор 10^{20} см⁻³, глубина р-п перехода 0,5 мкм.
 - Исходное легирование – фосфор 10^{21} см⁻³, глубина р-п перехода 1,5 мкм.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета по результатам работы на практических занятиях и выполнения лабораторных работ, а также в форме экзамена по лекционному курсу.

Вопросы для проведения промежуточной аттестации в форме экзамена по итогам освоения дисциплины

1. История, движущие силы и тенденции развития технологии новых материалов и структур.
2. Физические и физико-химические основы технологических процессов.
3. Технологии измельчения, разделения и очистки материалов
4. Методы выращивания монокристаллов.
5. Технология некристаллических материалов.
6. Технология производства пластин и подложек.
7. Очистка поверхности после механической обработки.
8. Технология формирование эпитаксиальных структур.
9. Диффузионное перераспределение вещества.
10. Окисление кремниевых пластин.
11. Основы плазменных и ионных технологий.
12. Технология ионного легирования.
13. Формирование тонких пленок.
14. Электрохимические процессы в технологии микро и наноструктур.
15. Технологии формирования и переноса рисунка.
16. Методы нанолитографии
17. Технологии сборки, пассивации и защиты.
18. Нанообъекты и наноматериалы.
19. Методы получения нанопорошков и технологии формирования наноструктур.
20. Наноструктурированные материалы.
21. Зондовые технологии.
22. Саморегулирующиеся процессы.
23. Технологии формирования приборов микро- нано- и оптоэлектроники, микро и наномашин

7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

7.1. Учебный рейтинг по дисциплине «Технология материалов и структур электроники» при проведении промежуточной аттестации в форме экзамена

Таблица 1.1 Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности в семестре при проведении промежуточной аттестации в форме экзамена

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
7	10	20	10	20	0	10	30	100

Программа оценивания учебной деятельности студента

7 семестр

Лекции – от 0 до 10 баллов

Посещаемость, опрос, активность и др. за один семестр.

Лабораторные занятия – от 0 до 20 баллов

Посещаемость, отчёты по лабораторным работам.

Практические занятия – от 0 до 10 баллов

Посещаемость, опрос, активность и др. за один семестр.

Самостоятельная работа – от 0 до 20 баллов

Оформление отчётов по лабораторным работам, выполнение заданий на самостоятельную работу.

Автоматизированное тестирование

Не предусмотрено.

Другие виды учебной деятельности: - от 0 до 10 баллов

Реферат, научно-исследовательская и методическая деятельность по дисциплине, бриц-опрос, контрольный опрос, итоговое тестирование и пр.

Промежуточная аттестация (экзамен) – от 0 до 30 баллов

Экзамен проводится в устной форме и предполагает ответ на 2 вопроса билета.

При проведении промежуточной аттестации

ответ на «отлично» оценивается от – 21 до 30 баллов;

ответ на «хорошо» оценивается от – 11 до 20 баллов;

ответ на «удовлетворительно» оценивается от – 6 до 10 баллов;

ответ на «неудовлетворительно» оценивается от 0 до 5 баллов.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 7 семестр по дисциплине «Технология материалов и структур электроники» при проведении промежуточной аттестации в форме экзамена составляет 100 баллов.

Таблица 2.2 Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Технология материалов и структур электроники» в оценку (экзамен):

86 - 100 баллов	«отлично»
70 - 85 баллов	«хорошо»
50 - 69 баллов	«удовлетворительно»
меньше 50 баллов	«неудовлетворительно»

Оценка студентам, успешно прошедшим обучение по дисциплине, может быть проставлена без сдачи ими экзамена на основании рейтинговой оценки по решению преподавателя.

Текущие индивидуально набранные студентами баллы доводятся до их сведения 2 раза за семестр: в середине семестра и за несколько дней до промежуточной аттестации.

7.2. Учебный рейтинг по дисциплине «Технология материалов и структур электроники» при проведении промежуточной аттестации в форме зачёта

Таблица 1.1. Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности в семестре при проведении промежуточной аттестации в форме зачёта.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
7	0	40	40	20	0	0	0	100

Программа оценивания учебной деятельности студента

7 семестр

Лекции

Не предусмотрены.

Лабораторные занятия – от 0 до 40 баллов

Посещаемость, правильность выполнения лабораторных работ, полнота отчётов по лабораторным работам.

Практические занятия – от 0 до 40 баллов

Посещаемость, опрос, активность и др. за один семестр.

Самостоятельная работа – от 0 до 20 баллов

Оформление отчётов по лабораторным работам, выполнение заданий на самостоятельную работу, контрольная работа.

Автоматизированное тестирование

Не предусмотрено.

Другие виды учебной деятельности:

Не предусмотрены.

Промежуточная аттестация (зачёт)

Зачет выставляется по результатам выполнения контрольной работы, лабораторных работ, заданий практических (семинарских) занятий и участия в их обсуждении

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 7 семестр по дисциплине «Технология материалов и структур электроники» при проведении промежуточной аттестации в форме зачёта составляет 100 баллов.

Таблица 2.2. Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Технология материалов и структур электроники» в оценку (зачет).

60 баллов и более	«зачтено»
меньше 60 баллов	«не зачтено»

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) литература

1. Технология полупроводниковых и диэлектрических приборов : учеб. для вузов / Ю. М. Таиров, В. Ф. Цветков. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2002. - 422 с. (в НБ СГУ 11 экз.)
2. Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / Д. А. Баранов. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2018. - 408 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/87568>
3. Васильев, В. Ю. Современное производство изделий микроэлектроники : учебное пособие / В. Ю. Васильев. — Новосибирск : НГТУ, 2019. — 88 с. — ISBN 978-5-7782-3907-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/152235>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Основы технологии материалов микроэлектроники: учебное пособие / А.В. Каменская. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2010. - 96 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/go.php?id=546218>
5. Общая технология силикатов: учебник / Л. М. Сулименко. - 1. - Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2020. - 336 с. - Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/document?pid=1070212&id=350988>
6. Раскин А.А., В. К. Прокофьева В.К. Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники ч. 1 - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2010. - 163 с. Гриф УМО (в НБ СГУ 45 экз.)
7. Рощин В.М., Силибин М.В. Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники ч. 2. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2010. 179 с. Гриф УМО (в НБ СГУ 45 экз.)
8. Капустин В. И., Сигов А. С. Материаловедение и технологии электроники : Учебное пособие. - Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2014. - 427 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/go.php?id=416461>. - ЭБС "ИНФРА-М"
9. Орликов Л. Н Технология материалов и изделий электронной техники. Часть 1. [Электронный ресурс] : учебное пособие. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. - 98 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.
10. Орликов Л. Н Технология материалов и изделий электронной техники. Часть 2. [Электронный ресурс] : учебное пособие. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. - 100 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.
11. Барыбин А. А. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 423 с. Гриф (в НБ СГУ 8 экз.)
12. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий: в 2 т. / под общ. ред. Ю. Н. Коркишко. Т. 1 : Физико-химические основы технологии микроэлектроники / Ю. Д. Чистяков, Ю. П. Райнова. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2010. - 392 с. (в НБ СГУ 15 экз.)
13. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: в 2 т. / под общ. ред. Ю. А. Чаплыгина. Ч. 1 : Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / Королёв М. А., Крупкина Т. Ю., Ревелева М. А.. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2010. - 396 с. Гриф (в НБ СГУ 30 экз.)
14. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: учеб. пособие : в 2 т. под общ. ред. Ю. А. Чаплыгина. Ч. 2 : Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования. / Королёв М. А., Крупкина Т. Ю., Путря М.Г., Шевяков В.И. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2009. - 422 с. Гриф (в НБ СГУ 30 экз.)

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам».
<http://window.edu.ru/>
2. Зональная научная библиотека им. В.А.Артисевич Саратовского государственного университета им.Н.Г.Чернышевского. <http://library.sgu.ru/>
3. Microsoft Windows XP Professional, Microsoft Windows 7, Microsoft Windows 8.
4. Microsoft Office профессиональный 2007 (Word, Excel, Access, PowerPoint, Outlook, InfoPath, Publisher).

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Занятия по дисциплине «Технология материалов и структур электроники» частично проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой и проекторами. Оборудование и возможности лаборатории описаны на сайте учебно-научной лаборатории технологии материалов и покрытий. При выполнении лабораторных работ используется следующее оборудование:

- 1) Установка нанесения PVD-покрытий Orion 40T (Южная Корея);
- 2) шкафы вытяжные, химически стойкие 1200 ШВМкв-ХС для хранения баллонов со сжатыми газами (С.-Петербург);
- 3) металлографический цифровой комплекс "Альтами-MET1" (С.-Петербург);
- 4) линейные программируемые источники питания:PST-3201 ("Instek GoodWill", Тайвань), LPS-304, LPS-305 ("Motech Inc.", Тайвань);
- 5) цифровые программируемые мультиметры Keithley-2000, Keithley-2000/20 ("Keithley", США);
- 6) регуляторы расхода газа "Bronkhorst High Tech" (Нидерланды);
- 7) генератор чистого воздуха ГЧВ-1,2-3,5 (Москва);
- 8) аналитические весы Ohaus (США);
- 9) вискозиметр SV-100 (Япония);
- 10) алмазный скрайбер RV-129 (Германия);
- 11) ультразвуковая ванна "Techsonic" (США);
- 12) центрифуга "Sigma" (Германия);
- 13) прибор для получения чистой воды "Водолей" (Москва);
- 14) мембранный дисцилятор ДМЭ/Б.2э (Владимир);
- 15) рН-метр "ino-Lab pH 730" (Германия);
- 16) Прибор для измерения краевого угла смачивания OCA-20 (Германия).

Место проведения практической подготовки учебно-научная лаборатория технологии материалов и покрытий.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» с учётом профиля подготовки «Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур».

Автор: доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством, к.ф.-м.н. Синёв И.В.

Программа разработана в 2019 г. и одобрена на заседании кафедры материаловедения, технологии и управления качеством от 23.09.2019 г., протокол № 2.

Программа актуализирована в 2021 г. и одобрена на заседании кафедры материаловедения, технологии и управления качеством от 20.09.2021 г., протокол № 2.