

**РП СФОРМИРОВАНА,  
СОГЛАСОВАНА  
И УТВЕРЖДЕНА В ЭИОС**

УТВЕРЖДАЮ /А.Н. Дедов/  
(Ф.И.О. декана (директора института))

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

(код и наименование дисциплины по учебному плану)

11.04.04 Электроника и наноэлектроника

Магистр

## Электронные и нанoeлектронные приборы и устройства

## Распределение учебного времени

(ГОД)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО направления подготовки (специальности) 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Программу составили:

профессор с ученой степенью доктора наук	КиПР	СОГЛАСОВАНО	И.И. Попов
(должность)	(кафедра)		(И.О. Фамилия)

РАССМОТРЕНА и ОДОБРЕНА на заседании кафедры, за которой закреплена дисциплина  
Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

(наименование кафедры)			
20.01.2025	протокол №	12	
(дата)			
Заведующий кафедрой	СОГЛАСОВАНО	Н.И. Сушенцов	
		(И.О. Фамилия)	

Рабочая программа СОГЛАСОВАНА с факультетом (институтом), выпускающей(ими)  
кафедрой(ами).  
СООТВЕТСТВУЕТ действующей ОП.

Заведующий кафедрой	СОГЛАСОВАНО	Н.И. Сушенцов
		(И.О. Фамилия)

Председатель методической комиссии факультета (института), в который входит  
выпускающая кафедра

СОГЛАСОВАНО	А.Н. Дедов
	(И.О. Фамилия)

Эксперт(ы): Лапин Владимир Авангардович, директор ООО "НПФ Мета-Хром"

Рабочая программа проверена и зарегистрирована в УМЦ 04.02.2025 г.

Специалист учебно-методического центра СОГЛАСОВАНО /Т.А. Смирнова/

## Раздел 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является достижение планируемых результатов обучения, соответствующих установленным в ОПОП индикаторам достижения компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения
1. ПК-1 Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроник и, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	ПК-1.1. Знает принципы построения и функционирования изделий микро- и нанoeлектроники.	<b>знания:</b> -физическую сущность влияния поверхностных состояний на характеристики устройств микро- и нанoeлектроники; - возможности лучевых технологий; -преимущества молекулярно-лучевой эпитаксии и эпитаксии из металлоорганических соединений в реализации устройств микро- и нанoeлектроники; -квантовый характер эффекта размерного ограничения при создании устройств; -перспективность метода химической сборки для создания наноструктур; - свойства низкоразмерного кремния, их приложение в рамках единой кремниевой технологии; -технологические аспекты высокотемпературной полупроводниковой электроники; <b>умения:</b> <b>навыки:</b>
	ПК-1.2. Умеет рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и нанoeлектроники.	<b>знания:</b> <b>умения:</b> -использовать современные информационные и компьютерные технологии для оценки количественных и качественных показателей состояния поверхности твердого тела и прогноза характеристик твердого тела; - использовать справочные данные по электрофизическим параметрам материалов микро – и нанoeлектроники; -строить физическую модель поверхности; -измерять поверхностный потенциал; -разрабатывать технологический алгоритм формирования твердотельной среды для получения электронного устройства; - нейтрализовать продукты химических реакций после подготовки поверхности к измерениям и последующим технологическим операциям <b>навыки:</b>
	ПК-1.3. Владеет навыками выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и нанoeлектроники.	<b>знания:</b> <b>умения:</b> <b>навыки:</b> -основными инструментами и приемами создания и исследования наноструктур в электронике

2. ПК-5 Способен делать научно- обоснованные выводы по результатам теоретических и эксперименталь- ных исследований, давать рекомендации по совершенствовани- ю устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения	ПК-5.1. Знает принципы проведения анализа полноценности и эффективности экспериментальных исследований.	<b>знания:</b> -решения по теплоотводу с помощью современных перспективных материалов; - критерии оценки радиационной надежности электронной техники; -элементную базу микроволновых систем (инжекционные лазеры, нанолазеры, сверхяркие светодиоды и т. д.); - принципы осуществления спутниковой, мобильной и сотовой связи; -перспективные направления электроники. <b>умения:</b> <b>навыки:</b>
	ПК-5.2. Умеет подготавливать научные публикации на основе результатов исследований.	<b>знания:</b> <b>умения:</b> -приобретать навыки работы в творческом коллективе; -отстаивать публично свою точку зрения; -готовить материалы к докладам и публикациям. <b>навыки:</b>
	ПК-5.3. Владеет навыками подготовки заявок на изобретения.	<b>знания:</b> <b>умения:</b> <b>навыки:</b> -основными инструментами и приемами создания и исследования наноструктур в электронике
3. ПК-6 Способен анализировать состояние научно- технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников	ПК-6.1. Знает современные технические требования к выбору конструктивно-технологического базиса изделий микро-	<b>знания:</b> -проблемы современной электроники больших мощностей; <b>умения:</b> <b>навыки:</b>
	ПК-6.2. Умеет анализировать литературные и патентные источники при разработке изделий микро- и нанoeлектроники.	<b>знания:</b> <b>умения:</b> -моделировать наноструктуры с использованием отечественного и зарубежного опыта; -формулировать задачи исследования на этапе экспериментального создания твердотельной среды с требуемыми свойствами; - решать экологические задачи при создании наноразмерных сред; <b>навыки:</b>
	ПК-6.3. Владеет навыками конструирования изделий микро- и нанoeлектроники.	<b>знания:</b> <b>умения:</b> <b>навыки:</b> -основными инструментами и приемами создания и исследования наноструктур в электронике

## Раздел 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений ОПОП.

Дисциплина является обязательной

Изучаемая дисциплина является основой для продолжения формирования указанных

компетенций в следующих дисциплинах: Испытания приборов и устройств электроники и наноэлектроники (ПК-1), Испытания радиотехнических приборов и устройств (ПК-1), Современные технологические процессы в производстве устройств электроники (ПК-1), Исследования в электронике и наноэлектронике (ПК-5), Современные технологические процессы в производстве устройств электроники (ПК-5), Защита интеллектуальной собственности (ПК-5), Защита интеллектуальной собственности (ПК-6); практика: Учебная практика. Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы) (ПК-1), Производственная практика. Научно-исследовательская работа (ПК-1), Учебная практика. Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы) (ПК-5), Производственная практика. Научно-исследовательская работа (ПК-5), Учебная практика. Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы) (ПК-6), Преддипломная практика (ПК-6); государственной итоговой аттестации в форме: Выполнение и защита выпускной квалификационной работы (ПК-1), Выполнение и защита выпускной квалификационной работы (ПК-5), Выполнение и защита выпускной квалификационной работы (ПК-6)

### Раздел 3. ОПИСАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Для формирования заявленных компетенций используются методологические технологии, реализующие деятельностный, личностно-ориентированный, практико-ориентированный подходы.

Основными стратегическими технологиями являются: лекционные занятия, практические и лабораторные занятия, процедуры самообучения

На достижение конкретных целей обучения направлены применяемые тактические технологии: классическая лекция

### Раздел 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 1 семестр

Виды и темы занятий	Количество часов	Формируемые компетенции
<b>Раздел 1. Поверхностные и межфазные границы</b>	<b>20</b>	ПК-1, ПК-5, ПК-6
Лекция. РОЛЬ ПОВЕРХНОСТИ В СОЗДАНИИ УСТРОЙСТВ МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ	2	
Лабораторная работа. «Физика наномира. Элементы интегральных микро- и наноэлектронных схем (ИМС и ИНС) и устройства на их основе».	2	
Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение Задача 1. Заряд на островке металла. Задача 2. Снайпер, вооруженный инфракрасным прицелом. Задача 3. Площадь обкладок конденсатора для одноэлектронного транзистора. Задача 4. Тепловыделение процессора современного компьютера	16	
<b>Раздел 2. Перспективные технологии формирования микро- и наноструктур</b>	<b>24</b>	ПК-1, ПК-5, ПК-6
Лекция. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВИДОВ ЭПИТАКСИИ	4	
Лабораторная работа. «Микро- и наноэлектромеханические	4	

системы (МЭМС и НЭМС)»		
Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение Литография высокого разрешения. Методы безмасочной технологии. Перьевая нанолитография. Нанопечатная литография. Электронный и ионный луч как инструмент современной технологии. Электронно-лучевая технология. Электронный луч для обработки металлов. Ионный луч.	16	
<b>Раздел 3. Квантовые основы наноинженерии</b>	<b>22</b>	ПК-1, ПК-5, ПК-6
Лекция. КВАНТОВЫЕ ОСНОВЫ НАНОИНЖЕНЕРИИ	4	
Лабораторная работа. «Современная нанотехника, наноустройства и наносистемы»	2	
Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение Условия формирования каналов в кремнии n-типа проводимости. Условия формирования наноканалов в кремнии p-типа проводимости. Вольтамперные характеристики при формировании низкоразмерного кремния. Структурные модификации пористого кремния. Электрохимические реакции в системе «кремний – электролит». Основные свойства и применения. Квантовая инженерия. Эффект размерного квантования и квантовые точки. Изготовление структур с квантовыми точками. Методы определения СКТ. Лазеры на самоорганизованных квантовых точках	16	
<b>Раздел 4. Технология квантоворазмерных систем</b>	<b>22</b>	ПК-1, ПК-5, ПК-6
Лекция. ТЕХНОЛОГИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК И МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР	2	
Лабораторная работа. Творческие задания	4	
Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение Получение поверхностных структур МОС-гидридной технологией. Химическая сборка поверхностных наноструктур. Углеродные нанотрубки. Низкоразмерные структуры на основе кремния. Пористый кремний. Применение низкоразмерного кремния в технологии изготовления транзисторов и интегральных схем	16	
<b>Раздел 5. Проблемы экстремальной электроники</b>	<b>20</b>	ПК-1, ПК-5, ПК-6
Лекция. ПЕРСПЕКТИВЫ КРЕМНИЯ КАК МАТЕРИАЛА ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ	2	
Лабораторная работа. Творческие задания	2	
Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение Перспективы кремния как материала экстремальной электроники. Структуры кремний-на-изоляторе (КНИ) и их преимущества. Материалы и структуры экстремальной электроники. Карбид кремния в решении задач экстремальной электроники. Структуры и приборы экстремальной электроники. Запираемые тиристоры. Биполярные транзисторы с изолированным затвором. МОП-транзисторы. Углерод в решении задач экстремальной электроники. Ультрадисперсные алмазы в технологическом применении в устройствах экстремальной электроники.	16	

Иная контактная работа:	0
Подготовка к экзамену	30
Проведение экзамена	6

## Раздел 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины рекомендуется начать с ознакомления с рабочей программой, ее структурой и содержанием разделов. Учебный материал структурирован, изучение дисциплины осуществляется в тематической последовательности.

**Занятия лекционного типа** дают систематизированные знания по дисциплине, концентрируют внимание на наиболее сложных и важных вопросах. Во время лекционных занятий рекомендуется вести конспектирование учебного материала; обращать внимание на формулировки и категории, раскрывающие суть проблемы, явления или процесса; зафиксировать выводы и практические рекомендации. Подготовка к **занятиям семинарского типа** включает ознакомление с планом лабораторного занятия; работу с конспектом лекций, выполнение домашнего задания, работу с учебной и учебно-методической литературой, научными изданиями и электронными образовательными ресурсами, рекомендованными рабочей программой дисциплины.

Содержание **самостоятельной работы** определяется рабочей программой дисциплины, оценочными и методическими материалами, заданиями и указаниями преподавателя. Самостоятельная работа может осуществляться в аудиторной и внеаудиторной формах. Эффективным средством осуществления самостоятельной работы является электронная информационно-образовательная среда университета, которая обеспечивает доступ к образовательной программе, рабочей программе дисциплины, к электронным библиотечным системам, профессиональным базам данных и информационным справочным системам.

Изучение дисциплины включает выполнение лабораторные работы и их защиты. Периодичность проведения, формы текущего контроля успеваемости, система оценивания хода освоения дисциплин представлены в рабочей программе.

## Раздел 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Учебно-методическое обеспечение

№№ п/п	Список используемой литературы	Количество экземпляров печатных изданий, имеющих в библиотеке, или электронный адрес издания (ресурса) в сети Интернет
<b>УЧЕБНЫЕ, УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ ИЗДАНИЯ</b>		
1.	Драгунов, Валерий Павлович. Основы нанoeлектроники [Текст] : [учеб. пособие для студентов вузов по направлению "Электроника и микроэлектроника", специальностям "Микроэлектроника и твердотельная электроника", "Микросистем. техника"] / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. М.: ФизматкнигаЛогос, 2006. - 494 с. ISBN 5-98704-054-X5-89155-149-7. Экземпляры: всего 10.	10
2.	Щука, Александр Александрович. Нанoeлектроника [Текст] : учебное пособие : по направлению подготовки "Прикладные математика и физика" / А. А. Щука; под	15

	редакцией А. С. Сигова. 4-е изд. Москва: Лаборатория знаний, 2019. - 342 с. ISBN 978-5-00101-156-9. Экземпляры: всего 15.	
3.	Игнатов, А. Н. Микросхемотехника и наноэлектроника [Электронный ресурс] / Игнатов А. Н. Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 528 с. ISBN 978-5-8114-1161-0.	<a href="https://e.lanbook.com/book/210695">https://e.lanbook.com/book/210695</a>
4.	Фостер, Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности [Электронный ресурс] : научное издание / Л. Фостер. Москва: Техносфера, 2008. - 352 с. ISBN 978-5-94836-161-1.	<a href="http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=73029">http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=73029</a>
5.	Игнатов, А. Н. Классическая электроника и наноэлектроника [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Н. Игнатов, Н. Е. Фадеева, В. Л. Савиных, В. Я. Вайспайр, С. В. Воробьева. 3-е изд. Москва: ФЛИНТА, 2017. - 728 с. ISBN 978-5-9765-0263-5.	<a href="https://e.lanbook.com/book/106860">https://e.lanbook.com/book/106860</a>
6.	Лозовский, В. Н. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. Н. Лозовский, С. В. Лозовский. 2-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 332 с. ISBN 978-5-8114-3986-7.	<a href="https://e.lanbook.com/book/206276">https://e.lanbook.com/book/206276</a>

## 6.2. Материально-техническая база и программное обеспечение

№№ п/п	Аудитории для проведения учебных занятий, самостоятельной работы и проведения государственной итоговой аттестации	Перечень основного оборудования	Программное обеспечение
1.	411 (III)	Агрегат электронасосный ХЦМ 1/10 (1), Муфельная печь МИПМ-3л (1), ОСЦИЛЛОГРАФ С1-64-А (1), ШКАФ ВЫТЯЖ ЛД-221 (1), Комплект учебной мебели (1)	Microsoft Windows Enterprise, Справочная правовая система "Консультант Плюс", Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web, Комплект ГАРАНТ-Мастер, Microsoft Access, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio Enterprise, Комплект ПО для решения основных пользовательских задач

## Раздел 7. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ/ ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Критерии оценивания индикаторов достижения компетенций направлены на:

- усвоение теоретического материала (объем знаний, глубина усвоения), предусмотренного рабочей программой;
- умение излагать материал (четкость, грамотность изложения материала, точность и полнота воспроизведения учебного материала);
- умение применять теоретические знания при решении практических заданий.



Шкала оценивания представлена ниже.

Уровень сформированности элементов компетенции	Критерии оценивания	Шкала оценивания
Пороговый уровень	Обучающийся имеет знания основного материала, проявляет умение логично его излагать, но может допускать неточности в изложении материала, недостаточно правильные формулировки, испытывает затруднения в выполнении практических заданий.	удовлетворительно
Продвинутый уровень	Обучающийся твердо знает программный материал, излагает его грамотно и по существу, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения	хорошо
Высокий уровень	Обучающийся глубоко и прочно усвоил программный материал, грамотно и логически стройно его излагает, дает исчерпывающие ответы на поставленные вопросы. В ответе тесно увязывается теория с практикой, при этом обучающийся не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, показывает знакомство с монографической литературой, периодическими изданиями, правильно обосновывает принятые решения, свободно владеет разносторонними навыками, приемами выполнения практических работ	отлично

#### 7.1. Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценивание хода освоения дисциплины (модуля) и производится с применением технологии рейтингового контроля в соответствии с технологической картой дисциплины. Порядок составления технологической карты и алгоритм проведения процедуры оценивания видов деятельности обучающихся, направленных на освоение знаний, умений, навыков и/или опыта деятельности, по накопительной системе в баллах устанавливается положением о системе РИТМ в ФГБОУ ВО «ПГТУ»

#### 7.2. Промежуточная аттестация обучающихся

Промежуточная аттестация обучающихся направлена на оценивание результатов обучения по дисциплине (модулю) и проводится с использованием фондов оценочных средств.

Примеры типовых контрольных заданий из базы фонда оценочных средств по образовательной программе.

**С ростом главного квантового числа  $n$  энергия стационарного состояния атома:**

Увеличивается.

Не изменяется.

Уменьшается.

Сначала увеличивается, а затем, после достижения определенного значения  $n$ , уменьшается.

### **Почему кремний является основным материалом современной микроэлектроники?**

Наиболее дешевый материал при производстве.

Высокая теплопроводность.

Присутствует возможность работы на высоких частотах.

Простота обработки материала.

### **Каковы возможности метода молекулярно-лучевой эпитаксии?**

Создание монокристаллических пленок.

Создание поликристаллических пленок.

Ионное травление.

Создание оксидов и нитридов металлов.

### **В чём состоит важный для атомной теории принцип соответствия?**

Поведение квантовомеханической системы стремится к классической физике в пределе больших квантовых чисел.

Поведение квантовомеханической системы стремится к классической физике в пределе малых квантовых чисел.

Поведение квантовомеханической системы не стремится к классической физике в пределе больших квантовых чисел.

Поведение квантовомеханической системы не стремится к классической физике в пределе малых квантовых чисел.

Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестации

### **Вопросы текущего контроля**

В ходе проведения лекций проводится текущий контроль знаний – выборочный текущий опрос на лекциях и выборочный письменный опрос после изучения каждого раздела. Текущий контроль направлен на формирование у студента основного понятийного аппарата в сфере нанотехнологий и способности использовать этот аппарат в своей профессиональной деятельности.

#### **1. Роль поверхности в создании устройств микро- и нанoeлектроники**

1. Что вы понимаете под идеальным кристаллом и идеальной поверхностью?
2. Что вы понимаете под реальным кристаллом и реальной поверхностью?
3. Какова природа поверхностного потенциала?
4. Какова природа уровней Тамма?
5. Какие внешние факторы оказывают влияние на свойства поверхности?
6. Какие энергетические состояния называются быстрыми?
7. Каково время установления равновесия быстрых состояний с объёмом?

8. Какие энергетические состояния называются медленными?
9. Каково время установления равновесия медленных состояний с объёмом?
10. Каковы концентрации поверхностных состояний?
11. Каковы принципиальные ограничения для традиционного подхода к управлению свойствами полупроводникового материала?
12. Что понимают под атомным кластером?
13. Что является движущей силой в образовании кластера?
14. Каковы современные методы получения структур с атомными кластерами?
15. Каковы методы исследования нанокластеров?
16. Что понимают под межфазными границами?

## **2. Технологические возможности перспективных видов эпитаксии**

1. Что понимают под эпитаксией?
2. Какие поверхностные процессы происходят при выращивании тонкой пленки методом МЛЭ?
3. Чем определяется конденсация на подложку нового материала из газовой фазы?
4. Каковы преимущества метода МЛЭ?
5. Каков механизм послойного роста?
6. Каков механизм роста Вольмера – Вебера?
7. Каков механизм роста Странски – Крастанова?
8. Что представляет собой механизм роста «статистическое осаждение»?
9. Что общего между методами МЛЭ и РГФ МОС?
10. Каковы различия между методами МЛЭ и РГФ МОС?
11. Какова задача фотолитографии?
12. Что понимают под законом Мура?
13. Каков прогноз уменьшения длины затвора МДП-транзисторов?
14. Каковы минимальный размер и длина канала  $K L$ , достигаемые в настоящее время?
15. Каковы длины волн эксимерных лазеров и от чего они зависят?
16. Каковы принципиально иные, по сравнению с фотолитографией, методы получения рисунка с размерами элементов менее 100 нм?
17. Каковы виды литографии высоких энергий?
18. Какова разрешающая способность электронно-лучевого экспонирования по сравнению с

фотоэкспонированием?

19. Какова основная причина разработки метода рентгеновской литографии?

20. Каковы главные преимущества рентгеновской литографии?

### **3. Квантовые основы наноинженерии**

1. Почему широкое развитие нанотехнологий связывают с появлением сканирующего микроскопа?

2. Что представляет собой эффект размерного квантования?

3. Какая гетероструктура является типичным примером эффекта размерного квантования?

4. Почему тонкие плёнки являются примером структуры с двумерным электронным газом?

5. В чём состоит важный для атомной теории принцип соответствия?

6. В чём состоит эксперимент по наблюдению магнитного эффекта Ааронова – Бома?

7. Каковы практические применения процесса туннелирования электрона?

8. Почему кремний является основным материалом современной микроэлектроники?

9. Какие причины сдерживают использование монокристаллического кремния в оптоэлектронике?

10. Сравните электрические сопротивления монокристаллического и пористого кремния.

11. Сравните теплопроводности монокристаллического и пористого кремния.

12. Какие составы электролитов используются при формировании низкоразмерного кремния?

13. Присутствие носителей заряда какого знака необходимо для получения низкоразмерного кремния при анодировании?

### **4. Технология тонких пленок и многослойных структур**

1. Каковы возможности метода молекулярно-лучевой эпитаксии?

2. Что общего и в чём разница методов молекулярно-лучевой эпитаксии и роста из газовой фазы с использованием металлоорганических соединений?

3. Каковы наиболее важные индивидуальные атомные процессы, сопровождающие эпитаксиальный рост?

4. Что представляет собой послойный рост, каков его механизм?

5. Что представляет собой островковый рост, каков его механизм?

6. Что представляет собой рост Странски – Крастанова, каков его механизм?

7. Каковы принципы жидкостной эпитаксии, каково её место в технологии микро- и нанoeлектроники?

8. Каков смысл терминов «гетероэпитаксия», «гомоэпитаксия», «хемоэпитаксия»?
9. Поясните упрощённую схему ростовой камеры в установке молекулярно-лучевой эпитаксии.
10. Каковы возможности контроля структуры и элементного состава плёнок в методе молекулярно-лучевой эпитаксии?
11. Каковы преимущества магнетронного распыления по сравнению с термическими способами осаждения?
12. Каковы возможности экспериментальной реализации многослойных систем для вакуумного ультрафиолета?
13. Каков наиболее простой способ получения многослойных структур металлов?
14. Что общего и в чём разница между потенциостатическим и гальваностатическим электролитическим осаждением?
15. Каковы особые свойства поверхностных наноструктур, определяющие перспективы их применения?
16. Каковы возможности получения поверхностных структур методом молекулярно-лучевой эпитаксии?

## **5. Перспективы кремния как материала экстремальной электроники**

1. Какие проблемы в технологии полупроводниковых приборов можно решить с помощью структуры КНИ?
2. Каковы основные преимущества структур КНИ перед обычными кремниевыми подложками?
3. Каковы основные свойства технологии Smart Cut?
4. Что понимают под процессом SIMOX?
5. Каковы основные свойства технологии сращивания пластин?
6. Каково место эпитаксии в создании структур КНИ?
7. Каковы преимущества структур КНС и каковы ограничения в развитии КНС направления?
8. Каковы преимущества карбидокремниевой электроники?
9. Каковы основные направления использования приборов на карбиде кремния?
10. Какие устройства реально создаются на основе карбида кремния?