



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ОСНОВЫ ТЕОРИИ РОСТА КРИСТАЛЛОВ**

Кафедра экспериментальной физики

Образовательная программа

11.03.04- Электроника и наноэлектроника

Профили подготовки:

Микроэлектроника и твердотельная электроника

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Форма обучения:

Очная

Статус дисциплины:

Вариативная

Махачкала 2017


Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВОпо направлению подготовки 11.03.04- Электроника и наноэлектроника, профиль подготовки: микроэлектроника и твердотельная электроника (уровень: бакалавриата) - Приказ Минобрнауки России от 12.03.2015 №218.

Разработчик (и): кафедра экспериментальной физики, Садыков С.А., д.ф.-м.н., профессор

Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании кафедры экспериментальной физики от «31» марта 2017г., протокол № 8

Зав. кафедрой —  Садыков С.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от « 31» марта 2017г., протокол № 7.

Председатель —  Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением

«3» апреля 2017г.  Гасангаджиева А.Г.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация рабочей программы	4
1. Цели освоения дисциплины.....	5
2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры.....	5
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины.....	6
4. Объем, структура и содержание дисциплины.....	9
5. Образовательные технологии.....	18
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов...	19
7. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.....	20
7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.....	21
7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания.....	22
7.3. Типовые контрольные задания.....	25
7.4. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.....	32
8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.....	33
9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	34
10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины...	35
11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.....	36
12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	36

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «**Основы теории роста кристаллов**» входит в вариативную часть образовательной программы бакалавриата по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника. Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой экспериментальной физики.

Содержание дисциплины включает физические основы элементов теории зарождения, механизма и кинетики роста кристаллов, приобретение студентами практических навыков работы с основной аппаратурой для роста кристаллов и исследования их морфологии, овладение физико-химическими основами выращивания монокристаллов.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника:

общекультурных: способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);

общепрофессиональных: способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1); способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);

профессиональных: готовностью анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций (ПК-3).

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, практические занятия, самостоятельная работа. Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме: тестирование, индивидуальное собеседование, письменные контрольные задания и пр. и промежуточный контроль в форме экзамен.

Объем дисциплины 4 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий:

Семе стр	Учебные занятия					СРС, в том числ	Форма промежуточ ой аттестаци и (зачет, дифференцир ованный
	в том числе						
	Контактная работа обучающихся с преподавателем						
	Все го	из них					
	Лек	Лаборат	Практи	КСР	консул		

		ции	орные занятия	ческие занятия		ьтации	е экзамен	зачет, экзамен
6	144	16		18	36		74	экзамен

1. Цели освоения дисциплины

Цель изучения дисциплины «Основы теории роста кристаллов» является приобретение студентами базовых теоретических представлений о росте объёмных кристаллов и кристаллических тонких плёнок.

Задачами дисциплины является подготовка будущих специалистов к грамотному использованию достижений данной области науки в своей практической деятельности.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Основы теории роста кристаллов» в структуре ООП ВПО относится к профессиональному циклу (дисциплины по выбору студента) входит в **вариативную часть** образовательной программы. Основные разделы программы курса: Зарождение и форма идеальных кристаллов, механизм роста совершенных кристаллов, рост реальных кристаллов, методы выращивания монокристаллов.

Для успешного освоения дисциплины обучающимся студентам необходимы знания следующих курсов:

- термодинамика и статистическая физика;
- физическая химия;
- термодинамика материалов;
- материаловедение полупроводников и диэлектриков

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения) .

Компетенции	Формулировка компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)
ОК-7	способность к	Знать:

	<p>самоорганизации и самообразованию</p>	<ul style="list-style-type: none"> • понятия «самостоятельная работа студентов», «самоорганизация», «самоконтроль», «самообразование»; • формы, технологии организации самостоятельной работы; • пути достижения образовательных результатов и способы оценки результатов обучения*; • виды, формы контроля успеваемости в вузе <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • системно анализировать, обобщать информацию, формулировать цели и самостоятельно находить пути их достижения; • использовать в образовательном процессе разнообразные ресурсы; • объективно оценивать знания обучающихся на основе тестирования <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • культурой мышления, способностью к анализу, обобщению информации, постановке целей и выбору путей их достижения; • навыками составления результаториентированных планов-графиков выполнения различных видов учебной, научно-исследовательской и внеучебной работы; способами самоконтроля, самоанализа, демонстрировать стремление к самосовершенствованию, познавательную активность.
ОПК-1	<p>способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • проблемы современной теории роста кристаллов ; • состояние и перспективы научно-технической проблемы разработки технологических процессов роста кристаллов; • современные тенденции развития материаловедения, электроники, измерительной и вычислительной

	<p>естественных наук и математики;</p>	<p>техники, информационных технологий;</p> <ul style="list-style-type: none"> • понимать современные тенденции в развитии теории роста кристаллов. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • анализировать, систематизировать и обобщать научно-техническую информацию в области современной квантовой и оптической электроники; • самостоятельно изучать и понимать специальную научную и методическую литературу, связанную с проблемами роста кристаллов. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности; • навыками представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики.
<p>ОПК-2</p>	<p>способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности; • методы вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов или технологических процессов роста кристаллов; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • использовать физическую сущность процессов, протекающих при росте кристаллов; • создавать и анализировать на основе физических законов и их следствий теоретические модели явлений природы, получить навыки использования в практике важнейших физических

		<p>измерительных приборов и приемов;</p> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками оценки и измерения параметров кристаллов и монокристаллических плёнок; • навыками привлекать для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, соответствующий физико-математический аппарат.
ПК-3	<p>готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • принципы зарождения и рост кристаллов; • фазовые равновесия и переходы; • особенности кристаллообразования в парах и конденсированных средах; • механизмы роста совершенных кристаллов; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • использовать основные законы и методы исследования кристаллов ; • использовать понятийный и терминологический аппарат в профессиональной деятельности; • самостоятельно находить решения поставленной задачи; • критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; • работать и анализировать научно-техническую информацию. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • методами экспериментальных исследований параметров и характеристик кристаллов; • современными программными средствами моделирования и проектирования при росте кристаллов; • методикой расчета основных параметров критических радиусов и работы образования зародышей при гомогенном и гетерогенном

		зародышеобразования; <ul style="list-style-type: none"> • методами количественного формулирования и решения задач в области роста кристаллов; • опытом понимания качества исследований, относящихся к области роста кристаллов; • методами самостоятельного изучения и анализа специальной научной и методической литературы, связанной с проблемами роста кристаллов;
--	--	--

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/ п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные	Контроль самостоят.		
	Модуль 1.								
1	Равновесие и превращение фаз.	6		2	2		6	10	Домашнее задание (ДЗ) Собеседование (С) Рейтинговая система (РС)

2	Возникновение новой фазы.	6		4	4		6	12	(ДЗ), (С), (РС)
	<i>Итого по модулю 1: 48</i>			6	6		12	22	
Модуль 2									
3	Рост и равновесная форма кристаллов.	6		2	2		8	12	(ДЗ), (С), (РС)
4	Рост кристаллов из пара.	6		4	4		4	10	(ДЗ), (С), (РС)
1	<i>Итого по модулю 2: 52</i>			6	6		12	22	
Модуль 3.									
5	Рост кристаллов из расплава и раствора	6		2	2		8	15	(ДЗ), (С), (РС) (ДЗ), (С), (РС)
6	Рост нитевидных кристаллов.	6		2	4		4	15	(ДЗ), (С), (РС)
	<i>Итого по модулю 3: 44</i>			4	6		12	30	
	ИТОГО:			16	18		36	74	

4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

Модуль 1.

Тема 1. Равновесие и превращение фаз.

Фазы и компоненты. Уравнение Гиббса и уравнение Гиббса-Дюгема для двухфазной двухкомпонентной системы. Условия равновесия и превращения фаз. Кристаллизация в однокомпонентной системе. Диаграммы состояния двухкомпонентных систем. Поверхностное натяжение. Формула Лапласа. Уравнение Гиббса-Томсона.

Тема 2. Возникновение новой фазы.

Гомогенное зарождение капель жидкости. Гомогенное зарождение кристаллов. Гетерогенное зарождение кристаллов. Влияние внешних воздействий на скорость зародышеобразования. Теория образования трёхмерных зародышей на чужеродных частицах. Образование зародышей при высоких пересыщениях.

Модуль 2.

Тема 3. Рост и равновесная форма кристаллов

Модели роста кристаллов. Рост идеального кристалла путём образования двумерных зародышей. Равновесная форма кристаллов. Вычисление свободной поверхностной энергии. Зависимость краевой и поверхностной энергии от направления. Вычисление равновесной формы кристалла по методу Странского-Каишева. Соотношения между равновесной формой и формой роста.

Тема 4. Рост кристаллов из пара

Адсорбционный слой и поверхностная диффузия. Скорость перемещения ступени на грани кристалла. Нормальная скорость роста грани. Рельеф поверхности в случае роста на дислокациях. Рост грани кристалла путём образования двумерных зародышей. Эпитаксия. Получение квантово-размерных структур.

Модуль 3.

Тема 5. Рост кристаллов из расплава и из раствора.

Затвердевание чистого расплава. Очистка вещества при кристаллизации расплава. Концентрационное переохлаждение расплава. Выращивание кристаллов из расплава. Тепло- и массоперенос при росте кристаллов из раствора. Скорость роста шероховатой грани из раствора. Кинетический коэффициент шероховатой грани. Послойный рост кристаллов

из раствора. Поверхностно-диффузионная модель роста кристаллов из раствора. Слоистый рост кристаллов из раствора при прямом встраивании частиц в ступени. О выборе механизма роста кристаллов из раствора при интерпретации экспериментальных данных. Скоростное выращивание монокристаллов из раствора Выращивание кристаллов фуллеренов из раствора.

Тема 6. Рост нитевидных кристаллов.

Возможности ограничения роста кристаллов в некоторых направлениях. Влияние примеси на ориентацию оси роста усов. Ростовая активность усов. Образование и рост нитевидных кристаллов в растворе в присутствии примесей. Рост нитевидных кристаллов по механизму пар-жидкость-кристалл (ПЖК-механизм). Нитевидные образования, полученные термическим разложением металлоорганических соединений из газовой фазы.

Содержание лекционных занятий

Модули	Содержание темы
Модуль 1	<p><u>Лекция 1.</u></p> <p>Фазы и компоненты. Уравнение Гиббса и уравнение Гиббса-Дюгема для двухфазной двухкомпонентной системы. Условия равновесия и превращения фаз. Кристаллизация в однокомпонентной системе. Диаграммы состояния двухкомпонентных систем. Поверхностное натяжение. Формула Лапласа. Уравнение Гиббса-Томсона.</p> <p><u>Лекция 2.</u></p> <p>Гомогенное зарождение капель жидкости. Гомогенное зарождение кристаллов. Гетерогенное зарождение кристаллов.</p> <p><u>Лекция 3.</u></p> <p>Влияние внешних воздействий на скорость зародышеобразование. Теория образования трёхмерных зародышей на чужеродных частицах. Образование зародышей при высоких пересыщениях.</p>

<p>Модуль 2</p>	<p><u>Лекция 4.</u></p> <p>Модели роста кристаллов. Рост идеального кристалла путём образования двумерных зародышей. Равновесная форма кристаллов. Вычисление свободной поверхностной энергии.</p> <p><u>Лекция 5.</u></p> <p>Зависимость краевой и поверхностной энергии от направления. Вычисление равновесной формы кристалла по методу Странского-Кайшева. Соотношения между равновесной формой и формой роста.</p> <p><u>Лекция 6.</u></p> <p>Адсорбционный слой и поверхностная диффузия. Скорость перемещения ступени на грани кристалла. Нормальная скорость роста грани. Рельеф поверхности в случае роста на дислокациях. Рост грани кристалла путём образования двумерных зародышей. Эпитаксия. Получение квантово-размерных структур.</p>
<p>Модуль 3</p>	<p><u>Лекция 7.</u></p> <p>Затвердевание чистого расплава. Очистка вещества при кристаллизации расплава. Концентрационное переохлаждение расплава. Выращивание кристаллов из расплава. Тепло- и массоперенос при росте кристаллов из раствора. Скорость роста шероховатой грани из раствора. Кинетический коэффициент шероховатой грани. Послойный рост кристаллов из раствора.</p> <p><u>Лекция 8</u></p> <p>Возможности ограничения роста кристаллов в некоторых направлениях. Влияние примеси на ориентацию оси роста усов. Ростовая активность усов. Образование и рост нитевидных кристаллов в растворе в присутствии примесей. Рост нитевидных кристаллов по механизму пар-жидкость-</p>

	кристалл (ПЖК-механизм). Нитевидные образования, полученные термическим разложением металлоорганических соединений из газовой фазы.
--	---

Содержание разделов самостоятельной работы

№	Содержание темы	Кол. час ов
1.	Равновесие и превращение фаз Усложнённые диаграммы состояния. Изображение фазовых состояний трёхкомпонентной системы. Поверхностное натяжение. Формула Лапласа. Уравнение Гиббса-Томсона	10
2.	Возникновение новой фазы. Теория образования трёхмерных зародышей на чужеродных частицах. Образование зародышей при высоких пересыщениях.	8
3.	Рост и равновесная форма кристаллов Равновесная форма кристаллов. Вычисление свободной поверхностной энергии. Зависимость краевой и поверхностной энергии от направления.	12
4.	Рост кристаллов из пара Нормальная скорость роста грани. Рельеф поверхности в случае роста на дислокациях. Рост грани кристалла путём образования двумерных зародышей. Эпитаксия.	8
5.	Рост кристаллов из расплава Выращивание кристаллов. Очистка вещества при кристаллизации.	6
6.	Рост кристаллов из раствора Поверхностно-диффузионная модель роста кристаллов из раствора. Слоистый рост кристаллов из раствора при прямом встраивании частиц в ступени. О выборе механизма роста кристаллов из раствора при интерпретации экспериментальных данных. Скоростное выращивание	4

	монокристаллов из раствора	
7.	<p>Скорость роста и форма кристаллов в присутствии примеси</p> <p>Влияние примесей на рост кристаллов. Изменение состава и свойства кристаллообразующей среды в присутствии постороннего вещества. Адсорбционные действие примеси. Поверхностная концентрация адсорбированной примеси. Энергетическое воздействие примеси на рост кристаллов.</p>	4

5. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий с применением, как правило, компьютерных и технических средств, учебного и научного оборудования являются:

- Информационные технологии.
- Проблемное обучение.
- Индивидуальное обучение.
- Междисциплинарное обучение.
- Опережающая самостоятельная работа.

Для достижения определенных компетенций используются следующие формы организации учебного процесса: лекция(информационная, проблемная, лекция-визуализация, лекция-консультация и др.), практическое занятие, семинар, самостоятельная работа, консультация. Допускаются комбинированные формы проведения занятий, такие как лекционно-практические занятия.

Преподаватель самостоятельно выбирают наиболее подходящие методы и формы проведения занятий из числа рекомендованных и согласуют выбор с кафедрой.

Реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий и организации внеаудиторной работы (компьютерных симуляций, деловых и ролевых игр, разбора конкретных ситуаций, психологических и иных тренингов) с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Интерактивное обучение – метод, в котором реализуется постоянный мониторинг освоения образовательной программы, целенаправленный текущий контроль и взаимодействие (интерактивность) преподавателя и студента в течение всего процесса обучения.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

- постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Физика конденсированного состояния» и формирует необходимые компетенции;
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность студентов.

По лекционному материалу подготовлено учебное пособие, конспекты лекций в электронной форме и на бумажном носителе, большая часть теоретического материала излагается с применением слайдов (презентаций) в программе **PowerPoint**, а также с использованием интерактивных досок.

Обучающие и контролирующие модули внедрены в учебный процесс и размещены на Образовательном сервере Даггосуниверситета (<http://edu.icc.dgu.ru>), к которым студенты имеют свободный доступ.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Промежуточный контроль.

В течение семестра студенты выполняют:

- домашние задания, выполнение которых контролируется и при необходимости обсуждается на практических занятиях;
- промежуточные контрольные работы во время практических занятий для выявления степени усвоения пройденного материала;
- выполнение итоговой контрольной работы по решению задач, охватывающих базовые вопросы курса: в конце семестра.

Итоговый контроль.

Экзамен в конце 6 семестра, включающий проверку теоретических знаний и умение решения по всему пройденному материалу.

Изучать дисциплину рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе учебной дисциплины. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об изучаемых вопросах, а также отметить трудные и неясные

моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения, математические зависимости и выводы. Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее формулировки законов и основных понятий, новые незнакомые термины и названия, формулы, уравнения, математические зависимости и их выводы, так как при записи материал значительно лучше усваивается и запоминается.

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Фонды оценочных средств (контрольные вопросы и типовые задания для практических занятий, зачета; тесты и компьютерные тестирующие программы, примерную тематику рефератов и т.п., а также иные формы контроля, позволяющие оценить степень сформированности компетенций обучающихся) для проведения текущего, промежуточного и итогового контроля успеваемости и промежуточной аттестации имеются на кафедре. Они также размещены на образовательном сервере Даггосуниверситета (по адресу: <http://edu.dgu.ru>), а также представлены в управление качества образования ДГУ.

Методические рекомендации преподавателям по разработке системы оценочных средств и технологий для проведения текущего контроля успеваемости по дисциплинам (модулям) ООП (тематики докладов, рефератов и т.п.), а также для проведения промежуточной аттестации по дисциплинам (модулям) ООП (в форме зачетов, экзаменов, курсовых работ / проектов и т.п.) и практикам представлены в Положении «О модульно-рейтинговой системе обучения студентов Дагестанского государственного университета», утвержденном ученым Советом Даггосуниверситета.

Уровень освоения учебных дисциплин обучающимися определяется следующими оценками: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценки "отлично" заслуживает обучающийся, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять практические задания, предусмотренные программой, усвоивший основную литературу и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой.

Оценки "хорошо" заслуживает обучающийся, обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе практические задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе.

Оценки "удовлетворительно" заслуживает обучающийся, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением практических заданий, предусмотренных программой, знакомых с основной литературой, рекомендованной программой.

Оценка "неудовлетворительно" выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой практических заданий.

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описании образовательной программы.

Компетенция	Знания, умения, навыки	Процедура освоения
ОПК-1 ОПК-2 ПК-3	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • проблемы современной теории роста кристаллов; • понимание современных тенденций развития материаловедения, электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий; • основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности; • методы вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов или технологических процессов роста кристаллов; • принципы использования физических закономерностей в процессе роста кристалла; 	Устный опрос, письменный опрос, тестирование, выступление на семинарах

	<ul style="list-style-type: none"> • гомогенное зародышеобразование; • Влияние примесей на рост кристаллов; • Механизмы роста кристаллов; • Зависимость качества кристаллов от условий их выращивания. 	
ОПК-1, ОПК-2, ПК-3	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • анализировать, систематизировать и обобщать научно-техническую информацию в области роста кристаллов; • самостоятельно изучать и понимать специальную научную и методическую литературу, связанную с проблемами роста кристаллов; • использовать физическую сущность процессов, протекающих при росте кристаллов; • создавать и анализировать на основе физических законов и их следствий теоретические модели явлений природы, получить навыки использования в практике важнейших физических измерительных приборов и приемов; • делать численные оценки величины среднего перемещения молекулы от температуры в адсорбционном слое на грани кристалла; • делать численные оценки при расчётах скорости выращивания кристаллов; • использовать базовые понятия теории роста кристаллов для решения задач получения монокристаллов; • применять методы моделирования роста кристаллов; • анализировать информацию о новых технологиях получения 	Письменный опрос, контрольные задания, проверка рефератов, выступление на семинарах

	кристаллов и монокристаллических плёнок.	
ОПК-1, ОПК-2, ПК-3	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • методологией теоретических и экспериментальных исследований в области роста кристаллов; • навыками представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики; • навыками оценки и измерения параметров при росте кристаллов; • навыками привлекать для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, соответствующий физико-математический аппарат; • методами экспериментальных исследований параметров и характеристик выращенных кристаллов; • современными программными средствами моделирования и проектирования процессов роста кристаллов; • методикой расчета основных технологических параметров при выращивании кристаллов; • методами количественного формулирования и решения задач в области роста кристаллов; • опытом понимания качества исследований, относящихся к области возникновения и роста кристаллов; • методами самостоятельного изучения и анализа специальной научной и методической литературы, связанной с проблемами роста кристаллов. 	Устный опрос, письменный опрос, тестирование, выступление на семинарах, студенческая конференция.

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания.

Схема оценки уровня формирования компетенции

ОК-7 - способность к самоорганизации и самообразованию

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Представление о самостоятельной работе по предмету, формах организации самостоятельной работы и самоконтроля, путей их достижения, способов оценки результатов обучения	Знаком с методами организации самостоятельной работы и самоконтроля, путями их достижения, а также способами оценки результатов обучения	Показывает знания методов организации самостоятельной работы и самоконтроля, путей их достижения, а также способов оценки результатов обучения	Демонстрирует четкие знания методов и умение организации самостоятельной работы и самоконтроля, показывает готовность к пониманию путей их достижения, а также способов оценки результатов обучения
Базовый	Общее представление о методах анализа и обобщения информации, умение сформулировать цели и самостоятельно находить пути их достижения; использовать в образовательном	Знаком с методами анализа и обобщения информации, может участвовать в формулировке цели и предлагать пути их достижения	Демонстрирует знание методов анализа и обобщения информации, показывает умение сформулировать цели и самостоятельно находить пути их	Показывает знания методов анализа и обобщения информации, показывает умение сформулировать цели и самостоятельно находить пути их достижения,

	процессе разнообразные ресурсы		достижения	ГОТОВНОСТЬ использовать в образовательно м процессе разнообразные ресурсы
--	--------------------------------------	--	------------	--

ОПК-1

способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики;

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстр ировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворите льно	Хорошо	Отлично
Порогов ый	Представление об основных положениях, законах и методах естественных наук и математики, представление о научной картине мира	Имеет общее представление о основных положениях, законах и методах естественных наук и математики и о научной картине мира	Демонстрирует знание основных положений, законов и методов естественных наук и математики, и о научной картине мира	Показывает знание основных положений, законов и методов естественных наук и математики, умеет представлять научную картину мира
Базовый	Умение представить адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и	Имеет общее представление о современном состоянии и мировых тенденциях развития естественных наук и математики, имеет представление	Демонстрирует знание современного состояния и мировых тенденций развития естественных наук и математики, адекватно представляет	Способен систематизировать и обобщать знания о современном состоянии и мировых тенденциях развития естественных наук и математики,

	методов естественных наук и математики	о научной картине мира	научную картину мира	умеет грамотно представлять научную картину мира
--	--	------------------------	----------------------	--

ОПК-2

способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат.

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Общее представление о современном состоянии и проблемах развития теории роста кристаллов, умение привлекать для их решения соответствующий математический аппарат	Имеет общее представление о современном состоянии и проблемах развития теории роста кристаллов, знаком с физико-математическим аппаратом для решения возникающих проблем	Демонстрирует знание современного состояния и проблем развития теории роста кристаллов, проявляет готовность самостоятельно находить пути их решения	Показывает знания современного состояния и проблем развития теории роста кристаллов, умение решать типовые задачи, готовность к усвоению нового материала
Базовый	Умение выявлять естественнонаучную сущность, теории роста кристаллов привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	Имеет общее представление о проблемах, теории роста кристаллов обладает навыками применения физико-математического аппарата для	Показывает знания в области, теории роста кристаллов использовать физико-математический аппарат для решения возникающих проблем	Демонстрирует умение выявлять естественнонаучную сущность проблем, теории роста кристаллов, умение самостоятельно находить методы

	й аппарат	шения возникающих		решения типовых задач
--	-----------	----------------------	--	--------------------------

ПК-3 - готовностью анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Представление о методах анализа, систематизации, обобщения и моделирования результатов изучения процессов роста кристаллов, и представления материалов в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.	Имеет общее представление о методах анализа, систематизации, обобщения и моделирования результатов изучения процессов роста совершенных кристаллов.	Демонстрирует знание методов анализа, систематизации, обобщения и моделирования результатов изучения процессов роста кристаллов их представления в виде научных отчетов	Демонстрирует навыки применения методов анализа, систематизации, обобщения и моделирования результатов изучения процессов роста кристаллов и представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций
Базовый	Умение анализировать, систематизировать, обобщать и моделировать результаты изучения процессов возникновения и роста кристаллов представлять	Показывает навыки анализа, систематизации, обобщения и моделирования результатов изучения процессов возникновения и роста кристаллов	Способен анализировать, систематизировать, обобщать и моделировать результаты изучения процессов возникновения и роста	Имеет успешный опыт анализа, систематизации, обобщения и моделирования результатов изучения процессов возникновения и роста

	материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.	умение работать с литературными источниками	кристаллов их представления в виде научных отчетов, публикаций, презентаций	кристаллов, представления материалов в виде научных отчетов, публикаций, презентаций
--	--	---	---	--

Если хотя бы одна из компетенций не сформирована, то положительная оценки по дисциплине быть не может.

7.3. Типовые контрольные задания

Примерные темы для докладов студентов на семинарских занятиях

1. Гомогенное зародышеобразование.
2. Гетерогенное зародышеобразование.
3. Диаграммы состояния двухкомпонентных систем.
4. Образование зародышей при высоких перенасыщениях.
5. Механизмы и кинетика роста кристаллов.

Контрольные вопросы.

1. Сформулируйте условия термодинамического равновесия системы при постоянных V, T и P, T .
2. Дайте определение химического потенциала.
3. Запишите и поясните условия равновесия фаз в двухкомпонентной системе.
4. Проведите классификацию двухкомпонентных систем по типам растворимости компонентов в разных фазах.
5. Примените правила фаз Гиббса для анализа диаграммы состояния.
6. Какие свойства компонентов приводят к усложнениям диаграмм состояния.
7. Дайте определение удельной свободной поверхностной энергии для простой формы кристалла.
8. Что понимается под гомогенным зарождением новой фазы?

9. Запишите выражение для радиуса критического зародыша капли, используя химический потенциал, отнесённый к одной частицы.
10. Как теория объясняет возможность метастабильного состояния пересыщенного пара?
11. Как зависит скорость зарождения кристаллов от процесса обмена молекулами зародыша с паром или расплавом?
12. Влияют ли растворимые примеси на скорость зарождения?
13. Назовите признаки гомогенного зарождения кристалла.
14. Что понимают под гетерогенным возникновением кристаллов?
15. В чём заключаются особенности зарождения кристаллов на активирующих примесях?
16. Какие внешние факторы влияют на скорость возникновения кристалла?
17. Какими свойствами должна обладать подложка и жидкость, чтобы на подложке могли образоваться зародыши при очень малых пересыщениях?
18. Каковы особенности возникновения зародышей при очень высоких пересыщениях?
19. Как объяснить с помощью модели кристалла Косселя плоскогранную форму кристалла при его росте и закруглённую при растворении?
20. Какая зависимость скорости роста грани кристалла от пересыщения следует из первых теоретических оценок?
21. Какие факторы влияют на работу образования двумерного зародыша?
22. Почему на равновесной форме кристалла могут наблюдаться простые формы не только с минимальными значениями удельной свободной поверхностной энергии?
23. Какие условия необходимы для экспериментального получения равновесной формы кристалла?
24. Угол между нормальными к граням разных простых форм кристалла составляет 45° . При каком условии одна из простых форм исчезнет при дальнейшем росте кристалла?
25. Кристалл растёт сильно укороченным в одном направлении (в виде пластинки). В каком направлении в структуре кристалла располагается цепь сильной связи?

Пример задач для промежуточного контроля

Задача 1. Вычислить критический радиус капли жидкости, при гомогенном зародышеобразовании в паровой фазе.

Задача 2. Показать, что в процессе гомогенного зародышеобразования маленькая заряженная капля будет расти не только в пересыщенном паре, но даже и в паре, не достигшем насыщения.

Задача 3. Определить радиус и работу образования критического зародыша кремния в газовой фазе при температуре плавления. Пересыщение пара кремния равно 10% ($\frac{P}{P_0} = 1,1$), удельная свободная поверхностная энергия составляет $0,73 \text{ Дж/м}^2$, плотность расплава кремния $2,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Задача 4. Определить удельную свободную поверхностную энергию на границе раздела твёрдая фаза-жидкая фаза при гетерогенном зародышеобразовании кремния из пара на Грина (111) диэлектрика. Угол смачивания $\Theta = 30^\circ$, удельная свободная поверхностная энергия грани (111) диэлектрика $2,90 \text{ Дж/м}^2$, удельная свободная поверхностная энергия жидкого кремния $0,73 \text{ Дж/м}^2$.

Задача 5. Определить работу образования зародыша (имеющего форму шарового сегмента) на грани (111) подложки из диэлектрика при гетероэпитаксии кремния из пара. Пересыщение пара кремния равно 10% ($\frac{P}{P_0} = 1,1$), угол смачивания грани (111) диэлектрика $\Theta = 30^\circ$, удельная свободная поверхностная энергия грани (111) - $2,90 \text{ Дж/м}^2$, удельная свободная поверхностная энергия жидкого кремния $0,73 \text{ Дж/м}^2$.

Задача 6. Получение эпитаксиальных слоёв полупроводников и диэлектриков катодным распылением обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с получением их испарением в вакууме: источник, бомбардируемый ионами, находится при низкой температуре, что уменьшает неконтролируемый нагрев подложки; большие параллельные электроды обеспечивают однородность осадка по толщине на значительной площади; осаждение происходит без существенного изменения состава источника; отсутствуют загрязнения от тигля; подложка легко поддаётся предварительной очистке. Исследования условий роста эпитаксиальных слоёв германия, получаемых катодным распылением, показали, что зависимости минимальных температур эпитаксиального роста от скорости конденсации определяется давлением инертного газа, необходимого для поддержания разряда, причём

минимальная температура эпитаксии тем ниже, чем ниже давление инертного газа. Количественная обработка этих результатов показывает, что зависимость между скоростью роста и минимальной температурой эпитаксии описывается уравнением

$$V_K = V_K^0 \exp\left(-\frac{E(P)}{RT_3}\right),$$

где: V_K^0 и $E(p)$ зависят от давления аргона p следующим образом:

$$V_K^0 = V^0 \exp(-ap); E(p) = E^0 - bp;$$

причём: $E^0 = 78,7 \cdot 10^6$ Дж·кмоль⁻¹; $V^0 = 4,4 \cdot 10^{-4}$ м·с⁻¹; $a = 8,5 \cdot 10^3$ Дж·кмоль⁻¹·Па⁻¹; $b = 3,8 \cdot 10^6$ Дж·кмоль⁻¹·Па⁻¹;

Произвести анализ полученных результатов в рамках теории эпитаксиального роста Уолтона-Родина.

7.4. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля – 60 % и промежуточного контроля – 40 %.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий - 10 баллов,
- участие на практических занятиях - 25 баллов,
- выполнение лабораторных заданий –,
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ - 25 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- устный опрос - 5 баллов,
- письменная контрольная работа - 15 баллов,
- тестирование - 20 баллов.

Критерии оценок на курсовых экзаменах

В экзаменационный билет рекомендуется включать не менее 3 вопросов, охватывающих весь пройденный материал, также в билетах могут быть задачи и примеры.

Ответы на все вопросы оцениваются максимум **100 баллами**.

Критерии оценок следующие:

- **100 баллов** – студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности.

- **90 баллов** - студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает отдельные неточности.

- **80 баллов** - студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает некоторые ошибки общего характера.

- **70 баллов** - студент хорошо понимает пройденный материал, но не может теоретически обосновывать некоторые выводы.

- **60 баллов** – студент отвечает в основном правильно, но чувствуется механическое заучивание материала.

- **50 баллов** – в ответе студента имеются существенные недостатки, материал охвачен «половинчато», в рассуждениях допускаются ошибки.

- **40 баллов** – ответ студента правилен лишь частично, при разъяснении материала допускаются серьезные ошибки.

- **20-30 баллов** - студент имеет общее представление о теме, но не умеет логически обосновать свои мысли.

- **10 баллов** - студент имеет лишь частичное представление о теме.

- **0 баллов** – нет ответа.

Эти критерии носят в основном ориентировочный характер. Если в билете имеются задачи, они могут быть более четкими.

Шкала диапазона для перевода рейтингового балла в «5»-бальную систему:

«0 – 50» баллов – неудовлетворительно

«51 – 65» баллов – удовлетворительно

«66 - 85» баллов – хорошо

«86 - 100» баллов – отлично

«51 и выше» баллов – зачет

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

а) основная литература:

1. Современная кристаллография. Т.3. Образование кристаллов. Под ред. Б.К.Вайнштейна. М.: Наука, 1980.
2. Бартон Ф., Кабрера Н., Франк Ф. Рост кристаллов и равновесная структура их поверхно-стей. В сб. Элементарные процессы роста кристаллов. Под ред. Г.Г.Леммлейна и А.А.Чернова. М.: ИЛ, 1959.
3. Оура К., Лифшиц В.Г., Саранин А.А., Зотов А.В., Катаяма М.. Введение в физику поверх-ности.М: Наука, 2006.
4. Markov I. Crystal growth for beginners. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 2003.
5. Дубровский В.Г. Теория формирования эпитаксиальных наноструктур. М: Физматлит, 2009.

б) дополнительная литература

1. Чернов А.А. Слоисто-спиральный рост кристаллов. Успехи физических наук, 1961, Т.73, вып.2, С.277-331.
2. Pimpinelli A., Villain J. Physics of crystal growth. Cambridge University Press, Cambridge UK, 1998,
3. Чернов А.А. Рост цепей сополимеров и смешанных кристаллов -статистика проб и оши-бок. Успехи физических наук, 1970, Т.100, вып.2, С.277-328.
4. Michely T., Krug J. Islands, mounds and atoms. Patterns and processes in crystal growth far from equilibrium. Springer, Heidelberg 2004.

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>
2. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
3. Теоретические сведения по физике и подробные решения демонстрационных вариантов тестовых заданий, представленных на сайте Росаккредагентства (www.fepo.ru).

4. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
5. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>
6. www.biblioclub.ru - Электронная библиотечная система «Университетская библиотека - online».
7. www.iqlib.ru - Интернет-библиотека образовательных изданий, в который собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия
8. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
9. www.affp.mics.msu.su

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Студент в процессе обучения должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу. Удельный вес самостоятельной работы составляет по времени 30% от всего времени изучаемого цикла. Это отражено в учебных планах и графиках учебного процесса, с которым каждый студент может ознакомиться у преподавателя дисциплины.

Главное в период обучения своей специальности - это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтра. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли,

	выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практических работах.
Практические занятия	Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины. Конспектирование источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы, работа с текстом. Решение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму и др.
Реферат	Поиск литературы и составление библиографии, использование от 3 до 5 научных работ, изложение мнения авторов и своего суждения по выбранному вопросу; изложение основных аспектов проблемы. Кроме того, приветствуется поиск информации по теме реферата в Интернете, но с обязательной ссылкой на источник, и подразумевается не простая компиляция материала, а самостоятельная, творческая, аналитическая работа, с выражением собственного мнения по рассматриваемой теме и грамотно сделанными выводами и заключением. Ознакомиться со структурой и оформлением реферата.
Подготовка к зачету	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и др.

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

Чтение лекций с использованием мультимедийных презентаций. Использование анимированных интерактивных компьютерных демонстраций и практикумов-тренингов по ряду разделов дисциплины.

12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Материально – техническая база кафедры экспериментальной физики, которая осуществляет подготовку по направлению 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», позволяет готовить бакалавров, отвечающих

требованиям ФГОС. На кафедре имеются 3 учебных и 5 научных лабораторий, оснащенных современной технологической, измерительной и диагностической аппаратурой; в том числе функционирует проблемная НИЛ «Твердотельная электроника». Функционируют специализированные учебные и научные лаборатории: Физика и технология керамических материалов для твердотельной электроники, Физика и технология тонкопленочных структур, Электрически активные диэлектрики в электронике, Физическая химия полупроводников и диэлектриков.

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оснащенной мультимедийным проекционным оборудованием и интерактивной доской.