



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ОСНОВЫ ТЕОРИИ РОСТА КРИСТАЛЛОВ**

Кафедра инженерной физики

Образовательная программа

11.03.04- Электроника и нанoeлектроника

Профили подготовки:

Микроэлектроника и твердотельная электроника

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Форма обучения:

Очная

Статус дисциплины:

Вариативная

Махачкала 2020

Рабочая программа дисциплины составлена в 2020 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04- Электроника и нанoeлектроника, профиль подготовки: микроэлектроника и твердотельная электроника (уровень: бакалавриата)

от « 12 » марта 2015 г. № 218.

Разработчик(и): Шабанов Ш.Ш., – к.т.н., доцент кафедры ИФ

Рабочая программа дисциплины одобрена:

на заседании кафедры Инженерной физики от 17. 02. 2020 г., протокол № 6

Зав. кафедрой  Садыков С.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от 28. 02. 2020 г., протокол №6.

Председатель  Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением 28. 02. 2020 г. 

Аннотация рабочей программы дисциплины

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

Содержание дисциплины охватывает вопросы теории зарождения, механизма и кинетики роста кристаллов.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: общепрофессиональных - ОПК-2, профессиональных - ПК-3, ПК-8.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме коллоквиума, контрольной работы и промежуточный контроль в форме зачета, экзамена.

Объем дисциплины 2 зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий:

Семестр	Учебные занятия								Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)
	в том числе:								
	всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем						СРС, в том числе экзамен	
		всего	из них						
			Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации		
6	72	34	16		18			38	зачет, 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.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Основы теории роста кристаллов» входит в вариативную часть образовательной программы бакалавриата по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника».

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)
ОПК-2	способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	• Знать: основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности; • методы вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов или технологических процессов роста кристаллов; Уметь: • 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 Владеть: • культурой мышления, способностью к анализу, обобщению информации, постановке целей и выбору путей их достижения; • навыками составления результатов ориентированных планов-графиков выполнения различных видов учебной, научно-исследовательской и внеучебной работы; способами самоконтроля, самоанализа, демонстрировать стремление к самосовершенствованию,

		познавательную активность.
ПК-3	готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.	Знать: • проблемы современной теории роста кристаллов ; • состояние и перспективы научно-технической проблемы разработки технологических процессов роста кристаллов; • современные тенденции развития материаловедения, электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий; • понимать современные тенденции в развитии теории роста кристаллов. Уметь: • 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. Владеть: • 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.
ПК-8	способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий	Знать: • основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности; • методы вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов или

	электронной техники	технологических процессов роста кристаллов; Уметь: • 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; Владеть: • навыками оценки и измерения параметров кристаллов и монокристаллических плёнок; • навыками привлекать для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, соответствующий физико-математический аппарат.
--	---------------------	--

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 (<i>по неделям семестра</i>) Форма промежуточной аттестации (<i>по семестрам</i>)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные	Контроль самостоятел		

	Модуль 1.								
1	Равновесие и превращение фаз.	6		2	2			7	Домашнее задание (ДЗ) Собеседование (С) Рейтинговая система (РС)
2	Возникновение новой фазы.	6		4	4			7	(ДЗ), (С), (РС)
	<i>Итого:</i>			6	6			14	
	Модуль 2								
3	Рост и равновесная форма кристаллов.	6		2	2			6	(ДЗ), (С), (РС)
4	Рост кристаллов из пара.	6		4	4			6	(ДЗ), (С), (РС)
1	<i>Итого:</i> 52			6	6			12	
	Модуль 3.								
5	Рост кристаллов из расплава и раствора	6		2	2			6	(ДЗ), (С), (РС) (ДЗ), (С), (РС)
6	Рост нитевидных кристаллов.	6		2	4			6	(ДЗ), (С), (РС)
	<i>Итого:</i>			4	6			12	

	ИТОГО:			16	18			38	
--	---------------	--	--	----	----	--	--	----	--

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	<u>Лекция 1.</u> 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. <u>Лекция 2.</u> Гомогенное зарождение капель жидкости. Гомогенное зарождение кристаллов. Гетерогенное зарождение кристаллов. <u>Лекция 3.</u> Влияние внешних воздействий на скорость зародышеобразование. Теория образования трёхмерных зародышей на чужеродных частицах. Образование зародышей при высоких пересыщениях.

Модуль 2	<u>Лекция 4.</u> Модели роста кристаллов. Рост идеального кристалла путём образования двумерных зародышей. Равновесная форма кристаллов. Вычисление свободной поверхностной энергии. <u>Лекция 5.</u> Зависимость краевой и поверхностной энергии от направления. Вычисление равновесной формы кристалла по методу Странского-Каишева. Соотношения между равновесной формой и формой роста. <u>Лекция 6.</u> 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	<u>Лекция 7.</u> 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. <u>Лекция 8</u> 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 разделов самостоятельной работы

№	Содержание темы	Кол. часов
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.	Скорость роста и форма кристаллов в присутствии примеси 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.	4

5. Образовательные технологии

Активные и интерактивные формы, лекции, практические занятия, контрольные работы, коллоквиумы, зачеты и экзамены, компьютеры. В течение семестра студенты решают задачи, указанные преподавателем, к каждому семинару. В каждом семестре проводятся контрольные работы (на семинарах). Зачет выставляется после решения всех задач контрольных работ, выполнения домашних и самостоятельных работ.

При проведении занятий используются компьютерные классы, оснащенные современной компьютерной техникой. При изложении теоретического материала используется лекционный зал, оснащенный мультимедиа проекционным оборудованием и интерактивной доской.

По всему лекционному материалу подготовлен конспект лекций в электронной форме и на бумажном носителе, большая часть теоретического материала излагается с применением слайдов (презентаций) в программе **Power Point**, 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.

Самостоятельная работа студентов реализуется в виде:

- подготовки к контрольным работам;
- подготовки к семинарским занятиям;
- выполнения индивидуальных заданий по основным темам дисциплины;
- написание рефератов по проблемам дисциплины «Основы теории роста кристаллов»

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

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.

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

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.

Код и наименование компетенции из ФГОС ВО	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
ОПК-2 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико- математический аппарат		<i>Знает:</i> основные законы естественнонаучных дисциплин в профес- сиональной деятельности; методы вычислительной физики и математического моделирования структур, приборов или технологических процессов роста кристаллов; <i>Умеет:</i> использовать физическую сущность	Устный опрос, письменный опрос

		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; Владеть: 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 готовностью анализировать и систематизировать результаты		Знать: проблемы современной теории	Письменный опрос

исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций		роста кристаллов ; состояние и перспективы научно- технической проблемы разработки технологических процессов роста кристаллов; современные тенденции развития материаловедения, электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий; понимать современные тенденции в развитии теории роста кристаллов. Уметь: 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. Владеть: 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.	
ПК-8 способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники		Знать: основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности; методы вычислительной физики и математического	Письменный опрос
		математического	Круглый стол

		моделирования структур, приборов или технологических процессов роста кристаллов; Уметь: 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; Владеть: навыками оценки и измерения параметров кристаллов и монокристаллических плёнок; навыками привлекать для решения проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, соответствующий физико-	
--	--	---	--

		математический аппарат.	
--	--	----------------------------	--

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

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

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.

8. Перечень основной, дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины №	Библиографическое описание (авторы/составители, заглавие, вид издания, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в наличии в библиотеке/ в каталоге ЭБС
ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА		
1.	Белов Н.П. Основы кристаллографии и кристаллофизики. Часть I. Введение в	В каталоге ЭБС (с указанием

	теорию симметрии кристаллов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.П. Белов, О.К. Покопцева, А.Д. Яськов. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2009. — 45 с. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/67480.html	<i>электронного адреса)</i>
2.	Физическая химия [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.В. Булидорова [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2012. — 396 с. — 978-5-7882-1367-5. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/64034.html	В каталоге ЭБС (с указанием электронного адреса)
3.	Артамонова О.В. Химия твердого тела [Электронный ресурс] : учебное пособие / О.В. Артамонова. — Электрон. текстовые данные. — Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2015. — 168 с. — 978-5-89040-529-6. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/55066.html	В каталоге ЭБС (с указанием электронного адреса)
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА		
1.	Ахмедшина В.А. Кристаллизация энергонасыщенных соединений из растворов [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.А. Ахмедшина, В.Я. Базотов. — Электрон. текстовые данные. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2012. — 124 с. — 978-5-7882-1249-4. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/61872.html	В каталоге ЭБС (с указанием электронного адреса)
2.	Шипельников А.А. Разливка стали и кристаллизация слитка. Часть 1 [Электронный ресурс] : курс лекций / А.А. Шипельников, А.Н. Роговский. — Электрон. текстовые данные. — Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013. — 128 с. — 978-5-88247-626-6. — Режим доступа:	В каталоге ЭБС (с указанием электронного адреса)

	http://www.iprbookshop.ru/22915.html	
3.	Шипельников А.А. Разливка стали и кристаллизация слитка. Часть II [Электронный ресурс] : курс лекций / А.А. Шипельников, А.Н. Роговский. — Электрон. текстовые данные. — Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014. — 158 с. — 5-88247-717-4. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/55651.html	В каталоге ЭБС (с указанием электронного адреса)
4.	Федотов А.К. Физическое материаловедение. Часть 2. Фазовые превращения в металлах и сплавах [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.К. Федотов. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Вышэйшая школа, 2012. — 446 с. — 978-985-06-2063-7. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/21754.html	В каталоге ЭБС (с указанием электронного адреса)
5.	Кузей А.М. Структурно-фазовые превращения в быстрозакаленных алюминиевых сплавах [Электронный ресурс] : монография / А.М. Кузей. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Белорусская наука, 2011. — 399 с. — 978-985-08-1324-4. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/10096.html	В каталоге ЭБС (с указанием электронного адреса)

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.fero.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 наноэлектроника», 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.