

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(Физический факультет)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Специальный физический практикум**

Кафедра физики конденсированного состояния и наносистем

**Образовательная программа бакалавриата**

**03.03.02- Физика**

Направленность профиль программы:

**Фундаментальная физика**

Форма обучения:

очная

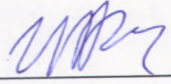
Статус дисциплины: входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений

**Махачкала, 2022 год**

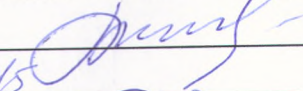
Рабочая программа дисциплины Специальный физический практикум составлена в 2022 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО – бакалавриат по направлению подготовки 03.03.02 – Физика, от «07» 08 2020 г. №891.

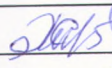
Разработчики:

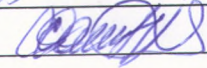
- кафедра физической электроники

Исмаилов А.М. к.ф.-м.н., доцент 

- кафедра физики конденсированного состояния и наносистем

Палчаев Д.К., д.ф.-м.н., профессор 

Хамидов М.М., д.ф.-м.н., профессор 

Гаджимагомедов С.Х., к.ф.-м.н, ст. препод. 

Рабочая программа дисциплины одобрена на заседании кафедр: физической электроники от «3» марта 2022 г., протокол № 4

Зав. кафедрой 

Ашурбеков Н.А.

физики конденсированного состояния и наносистем от «19» марта 2022 г., протокол № 7

Зав. кафедрой 

Рабаданов М.Х.

и на заседании Методической комиссии физического факультета от «23» марта 2022 г., протокол №7.

Председатель 

Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением «31» марта 2022 г.

Начальник УМУ 

Гасангаджиева А.Г.

## Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Специальный физический практикум» часть, формируемую участниками образовательных отношений по направлению подготовки 03.03.02 – Физика, профилю подготовки «Фундаментальная физика». Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрами физической электроники и физики конденсированного состояния и наносистем. Дисциплина реализуется на 3-м и 4-ом курсах, в 5, 6, 7 и 8 семестрах.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с технологией, которая лежит в основе элементной базы современных твердотельных электронных приборов (диодных и МДП-структур, тиристоров, биполярных и полевых транзисторов) и с современными методами измерения параметров полупроводниковых приборных структур.

Данный физпрактикум охватывает наиболее распространенные методы получения веществ в виде пленок, слоев и структур на различных подложках. Рассматриваются наиболее распространенные методы исследования и измерения основных характеристик полупроводниковых материалов. Большое внимание уделяется теории метода, общим принципам построения экспериментальных установок, освоению методов обработки экспериментальных данных. Анализируются области применения рассмотренных методов, их предельные возможности и перспективы.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: универсальные компетенции УК-1, общепрофессиональные компетенции - ОПК-2 профессиональные компетенции - ПК-3, ПК-8, ПК-10, ПК-11, ПК-12.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лабораторные занятия, самостоятельная работа

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме: защита лабораторных работ и промежуточный контроль в форме зачета.

Объем дисциплины 8 зачетных единиц, 288 часов, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Семестр	Учебные занятия в том числе						СРС, в том числе зачет	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)
	Контактная работа обучающихся с преподавателем							
	Всего	из них						
	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	СР	консультации			
5	72		48		24			зачёт
6	72		48		24			зачёт
7	72		40		32			зачёт
8	72		48		24			зачёт
<b>Итого</b>	<b>288</b>		<b>184</b>		<b>104</b>			<b>зачёт</b>

### 1. Цели и задачи дисциплины.

Цель дисциплины: научить студентов базовым экспериментальным методам получения пленок, слоев различных веществ (металлы, диэлектрики, полупроводники) и измерения параметров полупроводников, которые составляют основу современной элементной базы микроэлектроники.

Задачами дисциплины являются:

- научить студентов методам получения тонких пленок, слоев и структур различных веществ.

- ознакомить с методами измерения основных параметров полупроводниковых материалов и структур.

- научить использовать знания и умения, полученные при изучении дисциплины, в процессе производственной деятельности.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина «Специальный физический практикум» часть, формируемую участниками образовательных отношений бакалавриата по направлению 03.03.02 - Физика.

Настоящий спецпрактикум предназначен для подготовки бакалавров по направлению «Физика» в соответствии с требованиями, отраженными в государственных образовательных стандартах. Особенность программы состоит в фундаментальном характере изложения дисциплины с целью не только сообщения студентам определенной суммы конкретных сведений, но и формирования у них физического мировоззрения как базы общего естественно - научного развития соответствующего способа мышления.

Для усвоения данного курса необходимы знания разделов электричества, оптики, физики полупроводников, физики твердого тела, физики полупроводниковых приборов; необходимо владение методами решения дифференциальных уравнений. К «входным» знаниям можно отнести также вопросы геометрии кристаллической решетки, зонной теории твердого тела, статистики невырожденного и вырожденного электронного газа, явлений переноса, оптических свойств полупроводников и др.

Знания, умения и навыки, полученные в результате освоения дисциплины, необходимы и используются при проведении экспериментальных исследований, в том числе при выполнении курсовых и квалификационных работ.

Код и наименование компетенции из ОПОП	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	Б-УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие;	<b>Знает:</b> основные методы критического анализа; методологию системного подхода, принципы научного познания. <b>Умеет:</b> производить анализ явлений и обрабатывать полученные результаты; выявлять проблемные ситуации, используя методы анализа, синтеза и абстрактного мышления; использовать современные теоретические концепции и объяснительные модели при анализе информации <b>Владеет:</b> навыками критического анализа	Устный опрос, письменный опрос
	Б-УК-1.2. Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию,	<b>Знает:</b> систему информационного обеспечения науки и	

	<p>требуемую для решения поставленной задачи;</p>	<p>образования;  <b>Умеет:</b>  осуществлять поиск решений проблемных ситуаций на основе действий, эксперимента и опыта; выделять экспериментальные данные, дополняющие теорию (принцип дополнительности).  <b>Владеет:</b>  основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией.</p>	
	<p>Б-УК-1.3. Осуществляет поиск информации для решения поставленной задачи по различным типам запросов;</p>	<p><b>Знает:</b>  методы поиска информации в сети Интернет; правила библиографирования информационных источников; библиометрические и наукометрические методы анализа информационных  <b>Умеет:</b>  критически анализировать информационные потоков источники, научные тексты; получать требуемую информацию из различных типов источников, включая Интернет и зарубежную литературу.  <b>Владеет:</b>  методами классификации и оценки информационных ресурсов</p>	
	<p>Б-УК-1.4. При обработке информации отличает факты от мнений, интерпретаций, оценок, формирует собственные мнения и суждения, аргументирует свои выводы и точку зрения, в том числе с применением философского понятийного аппарата.</p>	<p><b>Знает:</b>  базовые и профессионально-профилированные основы философии, логики, права, экономики и истории; сущность теоретической и экспериментальной интерпретации понятий; сущность операционализации понятий и ее основных составляющих.  <b>Умеет:</b>  формулировать исследовательские</p>	

		<p>проблемы; логически выстраивать последовательную содержательную аргументацию; выявлять логическую структуру понятий, суждений и умозаключений, определять их вид и логическую корректность.</p> <p><b>Владеет:</b> методами логического анализа различного рода рассуждений, навыками ведения дискуссии и полемики</p>	
	<p>Б-УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленных задач</p>	<p><b>Знает:</b> требования, предъявляемые к гипотезам научного исследования; виды гипотез (по содержанию, по задачам, по степени разработанности и обоснованности).</p> <p><b>Умеет:</b> определять в рамках выбранного алгоритма вопросы (задачи), подлежащие дальнейшей разработке и предлагать способы их решения.</p> <p><b>Владеет:</b> технологиями выхода из проблемных ситуаций, навыками выработки стратегии действий; навыками статистического анализа данных.</p>	
<p><b>ОПК-2</b> Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные</p>	<p>ОПК-2.1. Выбирает или самостоятельно формулирует тему исследования, составляет программу исследования.</p>	<p><b>Знает:</b> - актуальные проблемы, основные задачи, направления, тенденции и перспективы развития физики, а также смежных областей науки и техники. - принципы планирования экспериментальных исследований для решения поставленной задачи.</p> <p><b>Умеет:</b> - самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований; - рассматривать возможные варианты реализации экспериментальных</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос</p>

		<p>исследований, оценивая их достоинства и недостатки.</p> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками формулировать конкретные темы исследования, планировать эксперименты по заданной методике для эффективного решения поставленной задачи.</li> </ul>	
	<p>ОПК-2.2. Самостоятельно выбирает методы исследования, разрабатывает и проводит исследования.</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- современные инновационные методики исследований, в том числе с использованием проблемно-ориентированных прикладных программных средств</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- предлагать новые методы научных исследований и разработок, новые методологические подходы к решению поставленных задач; - самостоятельно выбирать методы исследования, разрабатывать и проводить исследования.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-навыками самостоятельно выбирать методы исследования, разрабатывать и проводить исследования.</li> </ul>	
	<p>ОПК-2.3. Анализирует, интерпретирует, оценивает, представляет и защищает результаты выполненного исследования с обоснованными выводами и рекомендациями.</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные приемы обработки и представления результатов выполненного исследования; - передовой отечественный и зарубежный научный опыт, и достижения по теме исследования.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать основные приемы обработки, анализа и представления экспериментальных данных;</li> <li>- формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по выполненной работе.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками обработки, анализа и интерпретации полученных данных с использованием</li> </ul>	

		современных информационных технологий; - формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по исследовательской работе.	
<p><b>ПК-3.</b> Способен осваивать и использовать базовые научнотеоретические знания и практические умения по предмету в профессиональной деятельности</p>	<p>ПК-3.1. Использует теоретические и практические знания для постановки и решения педагогических задач в предметной области и в области образования</p>	<p><b>Знает:</b> содержание, сущность, закономерности, принципы и особенности изучаемых явлений и процессов, базовые теории в предметной области; закономерности, определяющие место предмета в общей картине мира; программы и учебники по преподаваемому предмету; основы общетеоретических дисциплин в объеме, необходимом для решения педагогических, научно-методических и организационно-управленческих задач (педагогика, методика преподавания предмета.) <b>Умеет:</b> анализировать базовые предметные научнотеоретические представления о сущности, закономерностях, принципах и особенностях изучаемых явлений и процессов. <b>Владеет:</b> навыками понимания и системного анализа базовых научно-теоретических представлений для решения профессиональных задач.</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос</p>
	<p>ПК-3.2. Способен соотносить основные этапы развития предметной области с ее актуальными задачами, методами и концептуальными подходами, тенденциями и перспективами ее современного развития</p>		
	<p>ПК-3.3. Способен выделять структурные элементы, входящие в систему познания предметной области, анализировать их в единстве содержания, формы и выполняемых функций</p>		
<p><b>ПК-8.</b> Способен проводить работы по обработке и анализу научнотехнической информации, проводить эксперименты и оформлять результаты.</p>	<p>ПК-8.1. Способен собирать, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов и исследований в соответствующей области знаний, проводить эксперименты и наблюдения, составлять отчеты по теме или по результатам проведенных экспериментов</p>	<p><b>Знает:</b> методы исследований, проведения, обработки и анализа результатов испытаний и измерений; критерии выбора методов и методик исследований. <b>Умеет:</b> проводить испытания, измерения и обработку результатов; регистрировать показания приборов; проводить расчёты критически анализировать</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос</p>
	<p>ПК-8.2. Способен применять полученные</p>		



	знания на практике для решения профессиональных задач.	результаты делать выводы. <b>Владеет:</b> выбором испытательного и измерительного оборудования, необходимого для проведения исследований; выполнением оценки и обработки результатов исследования.	
	ПК-8.3. Способен пользоваться современными методами обработки и анализа научно-технической информации и результатов исследований в избранной области профессиональной деятельности	<b>Знает:</b> способы поиска и анализа научно-технической информации <b>Умеет:</b> анализировать научно-техническую информацию <b>Владеет:</b> способами выполнения оценки и обработки результатов исследований.	
	ПК-8.4. Способен строить математические модели физических процессов, задавать параметры и проводить моделирование физических задач	<b>Знает:</b> основы теории фундаментальных разделов физики; основные методы получения и исследования физических явлений, применяемые в отечественной и зарубежной практике; опыт лабораторных работ, требования техники безопасности; методы исследования, правила и условия выполнения работ, технических расчетов, оформления получаемых результатов. <b>Уметь:</b> составлять общий план исследования и детальные планы отдельных стадий, моделировать основные процессы предстоящего исследования; выбирать оптимальные методы исследования; <b>Владеть:</b> навыками выбора экспериментальных и расчетно-теоретических методов решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов.	
<b>ПК-10</b> Владеет	ПК-10.1. Владеет специальными знаниями в	<b>Знает:</b> основные физические	Устный опрос,

<p>методами теоретической физики в применении к профессиональным задачам.</p>	<p>области квантовой теории.</p>	<p>явления и основные принципы квантовой теории, границы их применения и применение принципов в важнейших практических приложениях; основные физические величины и константы теоретической физики, их определения, смысл, способы и единицы измерения; фундаментальные физические эксперименты в области исследования частиц и волн, и их роль в развитии науки.</p> <p><b>Умеет:</b>  объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления, эффекты и точки зрения фундаментальных физических взаимодействий; указать какие законы описывают то или иное явление (эффект); интерпретировать смысл физических величин и понятий; использовать методы адекватного физического и математического моделирования и методы теоретического анализа к решению конкретных проблем.</p> <p><b>Владеет:</b>  навыками использования основных физических законов и принципов в практических приложениях; навыками применения основных методов теоретического анализа для решения естественнонаучных задач; анализом полученных экспериментальных результатов в исследовании процессов, происходящих в микромире, адекватное соответствие результатов той или иной теоретической модели</p>	<p>письменный опрос</p>
	<p>ПК-10.2. Владеет</p>	<p><b>Знает:</b></p>	

	<p>специальными знаниями в области теоретической механики и электродинамики</p>	<p>основные законы динамики материальной точки и системы материальных точек; основные законы движения материальной точки относительно неинерциальных систем отсчета; колебания систем со многими степенями свободы и их основные характеристики; законы и принципы аналитической механики, электродинамики; движение материальной точки при больших скоростях; основные уравнения гидродинамики и электродинамики.</p> <p><b>Умеет:</b>  объяснить физические наблюдаемые природные и другие явления с помощью законов и методов теоретической механики и электродинамики; определить какие законы описывают данное явление или эффект; использовать методы абстракции, физического и математического моделирования для решения конкретных задач в области теоретической механики и электродинамики.</p> <p><b>Владеет:</b>  основными физическими законами и принципами использования теоретической механики и электродинамики в практических приложениях; методами использования основных методов теоретического анализа для решения естественно-научных задач; анализом полученных экспериментальных результатов в исследовании процессов, происходящих в микромире, адекватное соответствие результатов той или иной теоретической модели.</p>	
--	---------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

	<p>ПК-10.3. Применяет методы математической физики для постановки и решения задач в профессиональной деятельности</p>	<p><b>Знает:</b> теоретические основы, основные понятия, законы и модели линейных и нелинейных уравнений математической физики.</p> <p><b>Умеет:</b> понимать, излагать и критически анализировать базовую общезначимую информацию; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями и моделями линейных и нелинейных уравнений математической физики.</p> <p><b>Владеет:</b> методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации</p>	
	<p>ПК-10.4. Способен использовать основные методы теоретической физики.</p>	<p><b>Знает:</b> основные этапы развития и возникновения теоретической физики, об ученых, внесших основной вклад в развитие теоретической физики; основные законы и методы теоретической физики; возможности применения этих законов и методов для освоения, изучения дисциплин, как квантовая механика, термодинамика, статфизика и т.д.; основные стандарты, формы, правила составления научной документации и их отдельные особенности.</p> <p><b>Умеет:</b> критически оценивать следствия тех или иных решений, открытий в теоретической физике, на дальнейший ход развития науки в целом; применять знания, полученные при изучении теоретической физики, для решения конкретных физических задач; разработать вариант решения различных задач смежных дисциплин на основе законов</p>	

		<p>теоретической физики; написать статьи, доклады для выступления на различных форумах, заседаниях, семинарах.</p> <p><b>Владеет:</b> возможностью применять методы теоретической физики, ход и историю развития теоретической физики для формирования общих взглядов на характер науки, научных исследований; типовыми методологиями, приемами, технологиями, применяемыми при написании, составлении обзоров проведенных научных исследований; существующими методами, законами теоретической физики, которые можно применить для решения задач в различных областях человеческой деятельности</p>	
<p><b>ПК-11</b> Способен понимать теорию и методы исследования физики конденсированного состояния вещества</p>	<p>ПК-11.1. Базовые теоретические знания по физике конденсированного состояния из фундаментальных разделов общей и теоретической физики;</p>	<p><b>Знает:</b> типы связей в конденсированных средах, классификацию веществ – металлы полупроводники и диэлектрики; связь структуры и свойств конденсированных сред; диаграммы состояния многоатомных материалов.</p> <p><b>Умеет:</b> оценивать тип связи в конденсированных средах согласно их классификации – металлы полупроводники и диэлектрики; строить бинарные диаграммы состояния материалов.</p> <p><b>Владеет:</b> знаниями об энергии взаимодействия между атомами для различных типов связей; знаниями по расшифровке диаграмм состояния многоатомных материалов.</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос</p>
	<p>ПК-11.2. Физические основы и природа кристаллических классов</p>	<p>Знает: принципы формирования структуры и элементы кристаллофизики:</p>	

	и пространственных групп.	<p>типы кристаллических решеток; сингонии; плотность упаковки элементарных ячеек; виды дефектов в кристаллах; методы дифракционного анализа. Умеет: определять типы кристаллических решеток направления и плоскости решеток; определять элементы симметрии; плотность упаковки элементарных ячеек; расшифровывать результаты дифракционного анализа. Владеет: знаниями об идеальных и реальных структурах; методами определения направления и плоскости решеток, а так же элементов симметрии; методами оценки плотности упаковки элементарных ячеек; методами дифракционного анализа</p>	
	<p>ПК-11.3. Современные представления о формировании физических свойств конденсированных сред.</p>	<p><b>Знает:</b>  формирование зарядовых возбуждений и их релаксацию; процессы формирования равновесных и транспортных свойств; температурные зависимости механических, электрических, тепловых, магнитных и оптических свойств конденсированных сред; связь структуры с механическими электрическими, тепловыми, магнитными и оптическими свойствами.</p> <p><b>Умеет:</b>  оценивать параметры зарядовых возбуждений и их релаксации при формировании транспортных свойств; интерпретировать температурные зависимости механических, электрических, тепловых, магнитных и оптических свойств конденсированных сред.</p> <p><b>Владеет:</b>  методами оценки параметров</p>	

		<p>температурных зависимостей механических, электрических, тепловых, магнитных и оптических свойств конденсированных сред по экспериментальным данным; методами теоретической оценки параметров механических, электрических, тепловых, магнитных и оптических свойств; процессов формирования равновесных и транспортных свойств; методами интерпретации связи структуры с механическими электрическими, тепловыми,</p>	
	<p>ПК-11.4. Особенности свойств в монокристаллических, керамических и наноматериалах</p>	<p><b>Знает:</b> физику отличительных особенностей формирования свойств в монокристаллических, керамических и наноматериалах. <b>Умеет:</b> получать монокристаллические, керамические и наноматериалы. <b>Владеет:</b> технологиями получения и исследования свойств монокристаллических, керамических и наноматериалов</p>	
<p><b>ПК-12</b> Знает теорию и методы исследований в области физики низкотемпературной плазмы</p>	<p>ПК-12.1. Имеет представления о методиках и технологиях физических исследований с помощью современного оборудования.</p>	<p><b>Знает:</b> методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики низкотемпературной плазмы; физические основы возникновения самостоятельного и несамостоятельного тока в газах; <b>Умеет:</b> пользоваться современной приборной базой для проведения экспериментальных и (или) теоретических физических исследований в области физики электрического</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос</p>

		<p>пробоя; анализировать устройство используемых ими приборов и принципов их действия, приобрести навыки выполнения физических измерений, проводить обработку результатов измерений с использованием статистических методов и современной вычислительной техники.</p> <p><b>Владеет:</b> методикой и теоретическими основами анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики низкотемпературной плазмы; некоторыми диагностические методы исследования газоразрядной плазмы; методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики низкотемпературной плазмы навыками исследования физических процессов, протекающих в газах высокого давления.</p>	
	<p>ПК-12.2. Знает теорию и методы физических исследований в физике плазмы</p>	<p><b>Знает:</b> теорию и методы физических исследований в физике плазмы</p> <p><b>Умеет:</b> пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями формирования искровых, дуговых и объемных разрядов; решать задачи для описания поведения элементарных частиц, протекающих в плазме газового разряда;</p> <p><b>Владеет:</b> навыками проведения научных исследований в области физики низкотемпературной плазмы с помощью современной приборной базы (в том числе</p>	



		сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	
	ПК-12.3. Знает теорию и методы физических исследований в области физики плазмы.	<p><b>Знает:</b> теорию и методы физических исследований в области физики плазмы.</p> <p><b>Умеет:</b> понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию в области физики низкотемпературной плазмы; использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения задач по физике низкотемпературной плазмы; проводить научные исследования в области физики низкотемпературной плазмы с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.</p> <p><b>Владеет:</b> навыками для анализа протекания электрического тока в различных типах газового разряда, а также их взаимодействия с внешними электромагнитными полями; устройством используемых ими приборов и принципов их действия, приобрести навыки выполнения физических измерений, проводить обработку результатов измерений с использованием статистических методов и современной вычислительной техники.</p>	

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 8 зачетных единиц, 288 академических часов.

4.2. Структура дисциплины.

4.2.1. Структура дисциплины в очной форме

(5 семестр, 1 и 2 модули)

№ п/п	Разделы и темы дисциплины по модулям	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов (в часах)					Самостоятельная работа в т.ч. расчет экзамен	Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	...	Самостоятельная работа в т.ч. расчет экзамен		
Модуль 1. Основы вакуумной техники, получения тонких пленок из газовой фазы методом термического испарения и химическим транспортом.									
1	Освоение техники получения и измерения вакуума	5			6		4	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и ее защита	
2	Получение тонких пленок алюминия на подложке из стекла методом термовакуумного напыления.				6		2	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и ее защита	
3	Получение тонких пленок Те на монокристаллических подложках методом термохимической активации.				6		4	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и ее защита	
4	Получение тонких пленок и слоев оксида цинка методом химических транспортных реакций.				6		2	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и ее защита устный опрос.	
	Итого по модулю 1:36 часов				24		12		
Модуль 2. Основы физики и техники магнетронного распыления. Получение тонких пленок металлов, полупроводников, диэлектриков различными вариантами магнетронного распыления.									
1	Получение тонких пленок (металлы, диэлектрики, полупроводники) на различных подложках				8		4	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса	

	методом магнетронного распыления.							или ответов на тесты по теме; отчет по работе и ее защита устный опрос
2	Получение тонких пленок диэлектриков и полупроводников на различных подложках методом высокочастотного магнетронного распыления.				8		4	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и ее защита
3	Получение нитевидных кристаллов теллура методом термохимической активации.				8		4	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и ее защита
	Итого по модулю 2:36 часов				24		12	
	Итого за семестр: 72 часа				48		24	Зачет
6 семестр 3 и 4 модули)								
Модуль 3. Элементы симметрии								
1	Симметрия, элементы симметрии и симметрические преобразования. Общие понятия	6			6		3	Опрос и письменный отчет о выполненной работе
2	Расчет некоторых кристаллографических постоянных для решеток кристаллов кубической сингонии	6			6		3	Опрос и письменный отчет о выполненной работе
3	Установка кристалла, нахождение индексов ребер и граней кристалла. Координатные системы в кристаллах	6			6		3	Опрос и письменный отчет о выполненной работе
4	Исследование дефектов структуры кристаллов полупроводников методом химического травления	6			6		3	Опрос и письменный отчет о выполненной работе
	Итого по модулю 3:36 часов				24		12	
<b>Модуль 4. Исследования структуры веществ (рентгенодифракционный анализ)</b>								
1	Изучение рентгеновского дифрактометра Panalytical Empyrian series 2.	6			6		3	Опрос и письменный отчет о

								выполненной работе
2	Методы исследования тормозного и характеристического рентгеновского излучения	6			4		2	Опрос и письменный отчёт о выполненной работе
3	Установление вещества по данным о межплоскостных расстояниях	6			6		3	Опрос и письменный отчёт о выполненной работе
4	Расшифровка дифрактограммы эталона на примере решетки кубической сингонии	6			4		2	Опрос и письменный отчёт о выполненной работе
5	Исследование фазового состава твёрдого раствора с помощью рентгеновского дифрактометра	6			4		2	Опрос и письменный отчёт о выполненной работе
	<b>Итого по модулю 4:36 часов</b>				<b>24</b>		12	зачет
	<b>Итого за семестр: 72 часа</b>				<b>48</b>		24	зачет

7 семестр (5 и 6 модули)

**Модуль 5. Исследования оптических свойств полупроводников**

1	Изучение принципа работы инфракрасного спектрофотометра.	7			3		3	Опрос и письменный отчёт о выполненной работе
2	Подготовка образцов к исследованию электрических и оптических свойств полупроводников при низких температурах.	7			3		3	Опрос и письменный отчёт о выполненной работе
3	Термостимулированная проводимость. Определение глубины залегания уровней по данным ТСП полупроводников	7			3		3	Опрос и письменный отчёт о выполненной работе
4	Исследование спектров собственного краевого и примесного оптического поглощения и определение ширины запрещенной зоны полупроводников.	7			3		3	Опрос и письменный отчёт о выполненной работе
5	Изучение спектров собственной, примесной и индуцированной примесной	7			3		3	Опрос и письменный отчёт о

	фотопроводимости.						выполненной работе
6	Исследование люминесценции полупроводников. Определение механизмов люминесценции.	7		3		3	Опрос и письменный отчет о выполненной работе
	<b>Итого по модулю 5: 36 часов</b>			18		18	
<b>Модуль 6. Изучение технологии получения керамических материалов, лабораторного оборудования и экспериментальных установок для исследования свойств образцов</b>							
1	Изучение настольного сканирующего электронного микроскоп-анализатора ASPEXExpress и спектрометра EDX 800 HS	7		4		2	Опрос и письменный отчет о выполненной работе
2	Изучение работы камерной программируемой высокотемпературной печи LF-1514 и профилометра П300	7		3		2	Опрос и письменный отчет о выполненной работе
3	Изучение работы гидравлического пресса «OMA 665-666» (WERTHERINTERNATION)	7		3		2	Опрос и письменный отчет о выполненной работе
4	Изучение: метода определения насыпной плотности порошков; плотности, пористости и водопоглощения керамик методом гидростатического взвешивания.	7		4		4	Опрос и письменный отчет о выполненной работе
5	Изучение метода твердофазного спекания керамики. Расчет навесок. Синтез и спекание керамики.	7		4		2	Опрос и письменный отчет о выполненной работе
6	Изучение методов и экспериментальных установок для исследования электрических свойств керамических образцов	7		4		2	Опрос и письменный отчет о выполненной работе
	<b>Итого по модулю 6: 36 часов</b>			22		14	зачет
	<b>Итого за семестр: 72 часа</b>			40		32	зачет
<b>8 семестр, 7 и 8 модули)</b>							
<b>Модуль 7. Методы измерения параметров полупроводников (часть 1)</b>							
	Определение энергии активации примеси в полупроводнике по	8		6		2	Допуск к лабораторной работе в виде

	температурной зависимости электропроводности.							устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и ее защита
2	Зондовые методы измерения удельного сопротивления полупроводников.				6		4	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и ее защита
3	Определение концентрации носителей заряда, холловской подвижности, типа носителей заряда методом Холла.				6		2	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и ее защита
4	Изучение туннельного эффекта в полупроводниках.				6		4	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и ее защита
Итого по модулю 1:					24		12	
Модуль 8. Методы измерения параметров полупроводников (часть 2)								
1	Определение времени жизни неосновных носителей заряда по кинетике релаксации фотопроводимости.	8			8		4	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и ее защита
2	Измерение параметров неравновесных носителей заряда (дрейфовой подвижности, коэффициента диффузии, диффузионной длины).				8		4	Допуск к лабораторной работе в виде устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и ее защита устный опрос, письменный опрос, и т.д.
3	Определение ширины запрещенной зоны полупроводников				8		4	Допуск к лабораторной работе в виде

	оптическим методом.							устного опроса или ответов на тесты по теме; отчет по работе и ее защита
	Итого по модулю 2:36 часов				24		12	
	Итого за семестр: 72 часа				48		24	Зачет

### (5 семестр)

#### **Модуль 1. Основы вакуумной техники, получения е тонких пленок из газовой фазы методом термического испарения и химическим транспортом**

**Лабораторная работа № 1.** Температурная зависимость упругости паров различных веществ. Критическая плотность атомного пучка, критическая температура. Типы испарителей. Преимущества и недостатки термовакуумного метода (молекулярно-лучевой метод). Понятие о вакууме, основное уравнение вакуумной техники. Средства получения и измерения вакуума. Вакуумные системы технологических установок.

Практическая часть: получение и измерение вакуума на различных ростовых установках.

**Лабораторная работа № 2.** Основы теории зародышеобразования. Термодинамические условия гетерогенного зародышеобразования. Основные механизмы роста пленок на подложках. Методы очистки подложек различной природы от органической и неорганической грязи и контроля их степени чистоты. Адгезия пленки к подложке. Метод определения адгезии путем воздействия ультразвуковых колебаний.

Практическая часть: получение тонкой пленки алюминия на подложке из стекла методом термовакуумного напыления. Измерение ее толщины на микроинтерферометре МИИ-4М. Оценка скорости роста. Определение критической температуры роста пленок для фиксированной температуры тигля.

**Лабораторная работа № 3.** Монокристаллические подложки, эпитаксиальный рост, правило Руайе, псевдоморфный слой. Кристаллическая структура, физико-химические свойства теллура. Температурная зависимость упругости паров и парциальный состав паровой фазы теллура.

Практическая часть: Получение тонких пленок Те на монокристаллических подложках (слюда, сапфир) методом термовакуумного напыления. Определение температуры эпитаксии. Снятие рентгенограммы и оценка структурного совершенства полученных пленок.

**Лабораторная работа № 4.** Основы химической термодинамики. Основные термодинамические функции и соотношения между ними. Условия фазового и химического равновесия, правило фаз Гиббса. Тепловой эффект химической реакции, закон Гесса. Закон действующих масс и константа химического равновесия. Направление протекания химической реакции. Зависимость константы равновесия от температуры и давления. Примеры газотранспортных химических реакций (из технологии полупроводниковых материалов). Понятие о стандартном состоянии вещества.

Практическая часть: Получение тонких пленок и слоев оксида цинка методом химических транспортных реакций.

## **Модуль 2. Основы физики и техники магнетронного распыления. Получение тонких пленок металлов, полупроводников, диэлектриков различными вариантами магнетронного распыления.**

**Лабораторная работа № 5.** Физические основы ионного распыления. Коэффициент распыления и его зависимость от условий распыления. Распределение распыленных частиц по массам, углам, энергиям, зарядовому состоянию. Диодное, триодное, магнетронное распыление. Физика тлеющего разряда, вольт-амперная характеристика, аномальный режим тлеющего разряда. Движение заряженных частиц в магнетронном разряде. Реактивное магнетронное распыление. Преимущества и недостатки магнетронного распыления, современное состояние, перспективы.

Практическая часть: Получение тонких пленок (металлы, диэлектрики, полупроводники) на различных подложках методом магнетронного распыления.

**Лабораторная работа № 6.** Движение электрона в переменном ВЧ поле. Постоянный потенциал ВЧ плазмы. Магнитное поле в устройствах ВЧ распыления. Согласование и стабилизация ВЧ мощности. Преимущества и недостатки ВЧ магнетронного распыления по сравнению с магнетронной распылительной системой на постоянном токе и ВЧ-распылением без магнитного поля.

Практическая часть: Получение тонких пленок диэлектриков и полупроводников на различных подложках методом высокочастотного магнетронного распыления.

**Лабораторная работа № 7.** Определение одномерных структур (нитевидные структуры, вискеры, ленты и др.). Особенности структуры и свойств одномерных структур с объемными образцами. Суть метода термохимической активации, роль водорода.

Практическая часть: Получение нитевидных кристаллов теллура методом термохимической активации.

**(6 семестр)**

## **Модуль 3. Элементы симметрии**

### **Лабораторная работа №1**

Симметрия, элементы симметрии и симметрические преобразования. Общие понятия

### **Лабораторная работа №2**

Расчет некоторых кристаллографических постоянных для решеток кристаллов кубической сингонии

### **Лабораторная работа №3**

Установка кристалла, нахождение индексов ребер и граней кристалла.

Координатные системы в кристаллах

### **Лабораторная работа №4**

Исследование дефектов структуры кристаллов полупроводников методом химического травления

## **Модуль 4. Исследования структуры веществ (рентгено-дифракционный анализ)**

### **Лабораторная работа № 5**

Изучение рентгеновского дифрактометра Panalytical Empyrian series 2. Подготовка образцов для исследования на дифрактометре (порошки, керамика). Изучение полного цикла пробоподготовки.

### **Лабораторная работа № 6**

Исследование интерфейса и функционала пакета программного обеспечения HighScore Plus для исследования фазового и структурного состава.

### **Лабораторная работа № 7**

Установление вещества по данным о межплоскостных расстояниях. Расчет размеров кристаллитов (области когерентного рассеяния) по полуширине дифракционных пиков. Уточнение параметров ячейки по положению дифракционных пиков.

### **Лабораторная работа № 8**



Расшифровка дифрактограммы эталонного монокристалла. Определение параметра элементарной ячейки кристаллов с кубической решёткой

**Лабораторная работа № 9**

Расчёт дебаеграммы для определения типа и параметра решётки

**Лабораторная работа № 9**

Исследование фазового состава твёрдого раствора с помощью рентгеновского дифрактометра.

**4 курс (7 семестр)**

**Модуль 5. Исследования оптических свойств полупроводников**

**Лабораторная работа № 1.** Принципиальная схема установки. Изучение принципа работы инфракрасного спектрофотометра. Знакомство с работой вакуумного насоса.

**Лабораторная работа № 2.**

Подготовка образцов к исследованию электрических и оптических свойств полупроводников при низких температурах: нанесение контактов, проверка на омичность, крепление образца к стенке криостата.

**Лабораторная работа № 3.**

Изучение способа легирования образцов путем отжига в инертной среде.

**Лабораторная работа № 4.**

Исследование спектров собственного краевого и примесного оптического поглощения и определение ширины запрещенной зоны полупроводников  $A^2B^6$  до и после легирования. Оценка глубины залегания центров прилипания.

**Лабораторная работа № 5.**

Исследование термостимулированной проводимости полупроводников. Определение энергетического спектра локальных уровней в запрещенной зоне полупроводника по положениям максимумов.

**Лабораторная работа № 6.**

Исследование люминесценции полупроводников. Определение механизмов люминесценции.

**Модуль 6. Изучение технологии получения керамических материалов, лабораторного оборудования и экспериментальных установок для исследования свойств образцов**

**Лабораторная работа № 7.**

Изучение работы настольного сканирующего электронного микроскоп-анализатора ASPEXExpress

**Лабораторная работа № 8.**

Изучение работы спектрометра EDX 800 HS.

**Лабораторная работа № 9.**

Изучение работы профилометра и режимов камерной программируемой высокотемпературной печи LF-1514

**Лабораторная работа № 10.**

Изучение работы гидравлического пресса «ОМА 665-666» (WERTHERINTERNATION и пробное прессование эталонных порошков.

**Лабораторная работа № 11.**

Изучение метода и экспериментальной установки для одновременного исследования электросопротивления и теплового расширения образцов.

**Лабораторная работа № 12.**

Изучение метода и автоматизированной экспериментальной установки для исследования электросопротивления керамических образцов в вакууме от азотных температур.

**Лабораторная работа № 13.**

Определение насыпной плотности порошков. Определение плотности, пористости и водопоглощения керамических образцов методом гидростатического взвешивания.

**Лабораторная работа № 14.**

Изучение метода твердофазного спекания. Расчет количества навесок и их взвешивание. Спекание керамики.

### **Лабораторная работа № 15.**

Анализ результатов исследования, пересчет значений на нулевую пористость. Методика обработки экспериментальных результатов. Классификация видов погрешностей и их оценка. Метод пересчета эффективных значений параметров на нулевую пористость.

**(8 семестр)**

### **Модули 7 и 8. Методы измерения параметров полупроводников (части 1 и 2)**

**Лабораторная работа № 1.** Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников, определение энергии активации примеси и ширины запрещенной зоны. Понятие о зонной структуре твердых тел. Статистика электронов и дырок в полупроводниках, собственные и примесные полупроводники.

Практическая часть: Определение энергии активации примеси и ширины запрещенной зоны полупроводника по температурной зависимости электропроводности.

**Лабораторная работа № 2.** Особенности зондовых методов измерения электрических параметров полупроводников. Теория четырехзондового метода. Измерение удельного сопротивления объемных кристаллов, тонких пластин, диффузионных слоев. Влияние границ на поправочные функции.

Практическая часть: Измерение удельного сопротивления полупроводниковых слитков и полупроводниковых пленок четырехзондовым методом и методом Ван-дер-Пау.

**Лабораторная работа № 3.** Гальваномагнитные явления, теория эффекта Холла. Определение параметров полупроводников с помощью эффекта Холла. Источники систематических погрешностей в холловских измерениях. Влияние геометрии холловских контактов на измерение ЭДС.

Практическая часть: Определение концентрации носителей заряда, холловской подвижности, типа носителей заряда методом Холла.

**Лабораторная работа № 4.** Прохождение микрочастицы сквозь одномерный прямоугольный потенциальный барьер, туннельный эффект. Энергетическая диаграмма p-n-перехода на базе вырожденных полупроводников. ВАХ туннельного диода и его анализ.

Практическая часть: Снятие и изучение ВАХ туннельного диода.

**Лабораторная работа № 5.** Явление фотопроводимости полупроводников, неравновесные носители заряда, красная граница фотопроводимости. Кинетика релаксации фотопроводимости, время жизни неосновных носителей заряда

Практическая часть: Определение среднего времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводнике по кинетике релаксации фотопроводимости.

**Лабораторная работа № 6.** Неравновесные носители заряда в полупроводниках. Диффузия, дрейф и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Измерение дрейфовой подвижности. Определение диффузионной длины, коэффициента диффузии.

Практическая часть: Измерение параметров неравновесных носителей заряда в полупроводниках.

**Лабораторная работа № 7.** Виды оптических переходов и оптического поглощения фотонов в полупроводниках. Коэффициенты пропускания и отражения света и зависимость их от длины световой волны и температуры. Определение параметров полупроводниковых материалов методом оптического поглощения.

Практическая часть: Определение ширины запрещенной зоны полупроводников оптическим методом.

### **5. Образовательные технологии.**

По каждой лабораторной работе магистрам дается задание по поиску научных статей (не менее трех) отечественных и зарубежных авторов последних 5-10 лет, в которых дается описание метода получения образцов (тонких пленок) и измерения их физических параметров. Такая информация обычно содержится в разделах статьи: «Методика эксперимента», «Эксперимент»,

«Техника эксперимента». Преподаватель дает ориентир (указывает перечень журналов) для поиска таких статей. Студент должен сравнивать (сопоставить) свой эксперимент по лабораторной работе с экспериментальной методикой, описываемой автором в статье. Такая работа приучает студента к поиску и чтению научных статей, и в дальнейшем облегчит его работу над квалификационной работой.

Для выполнения физического практикума и подготовки к практическим (семинарским) занятиям изданы учебно-методические пособия и разработки, которые в сочетании с внеаудиторной работой способствуют формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся. В процессе лабораторного практикума используется умение студентов производить расчеты с помощью средств вычислительной техники, что позволяет существенно приблизить уровень статистической культуры обработки результатов измерений в практикуме к современным стандартам, принятым в науке и производственной деятельности. На этих занятиях студенты закрепляют навыки (приобретенные на 1-2 курсах) по использованию статистических методов обработки результатов наблюдений, что совершенно необходимо для работы в специальных учебных и производственных лабораториях.

В рамках данного спецпрактикума также предусмотрено общение бакалавров с сотрудниками Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, занимающимися технологией полупроводниковых материалов и исследованием их электрофизических свойств.

## **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.**

### **Самостоятельная работа бакалавров включает:**

Проработку материала по учебной и научной литературе (теоретическая часть по лабораторной работе); составление отчета по лабораторной работе.

### **Вопросы для самостоятельного изучения.**

#### **(5 семестр)**

#### **Модуль 1**

#### **Лабораторная работа № 1.**

1. Понятие о паре и газе.
2. Температурная зависимость упругости паров различных веществ.
3. Температура испарения вещества как критерий ее пригодности для получения тонких пленок термовакuumным методом.
4. Критическая плотность атомного пучка, критическая температура.
5. Типы испарителей. Преимущества и недостатки термовакuumного метода (молекулярно-лучевой метод).
6. Понятие о вакууме, степени вакуума (критерии Кнудсена).
7. Основное уравнение вакуумной техники.
1. Получения вакуума. Типы вакуумных насосов (форвакуумные: масляные, сухие; высоковакуумные: диффузионные, криогенные).
2. Измерения вакуума, вакуумметры и датчики (механические, тепловые, ионизационные).
3. Начертить схемы вакуумных систем технологических установок (с использованием принятого стандарта обозначений элементов вакуумных систем).

#### **Лабораторная работа № 2.**

1. Стадии формирования тонких пленок на поверхности подложек.
2. Основы теории зародышеобразования. Термодинамические условия гетерогенного зародышеобразования.
3. Основные механизмы роста пленок на подложках (зародышевый механизм

роста *Фольмера-Фебера*; послойный механизм роста *Франка- ван-дер-Мерве*; смешанный механизм роста *Странского-Крастанова*).

4. Методы очистки подложек различной природы от органической и неорганической грязи и контроля их степени чистоты.
5. Адгезия пленки к подложке. Метод определения адгезии путем воздействия ультразвуковых колебаний.
6. Зависимость проводимости тонкой пленки от толщины.

### **Лабораторная работа № 3.**

1. Монокристаллические подложки Si, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, GaAs, слюда (структура, свойства, применение).
2. Эпитаксиальный рост, правило Руайе, псевдоморфный слой.
3. Кристаллическая структура, физико-химические свойства теллура.
4. Температурная зависимость упругости паров.
5. Парциальный молекулярный состав паровой фазы теллура.

### **Лабораторная работа № 4.**

1. Основы химической термодинамики. Основные термодинамические функции и соотношения между ними.
2. Условия фазового и химического равновесия, правило фаз Гиббса.
3. Тепловой эффект химической реакции, закон Гесса.
4. Закон действующих масс и константа химического равновесия.
5. Направление протекания химической реакции.
6. Зависимость константы равновесия от температуры и давления.
7. Примеры газотранспортных химических реакций (из технологии полупроводниковых материалов). Понятие о стандартном состоянии вещества.

## **Модуль 2.**

### **Лабораторная работа № 5.**

1. Характеристика процесса ионного распыления.
2. Коэффициент распыления и его зависимость от условий распыления.
3. Распределение распыленных частиц по массам, углам, энергиям, зарядовому состоянию. Диодное, триодное, магнетронное распыление.
4. Физика тлеющего разряда, вольт-амперная характеристика, аномальный режим тлеющего разряда.
5. Движение заряженных частиц в магнетронном разряде.
6. Реактивное магнетронное распыление. Преимущества и недостатки магнетронного распыления, современное состояние, перспективы.

### **Лабораторная работа № 6.**

1. Принцип действия ВЧ магнетронного распыления. Движение электронов в переменном ВЧ поле.
2. Рассчитать амплитуду движения иона в переменном ВЧ поле.
3. Постоянный потенциал ВЧ плазмы. Магнитное поле в устройствах ВЧ распыления.
4. Согласование и стабилизация ВЧ мощности в распылительных устройствах.
5. Преимущества и недостатки ВЧ магнетронного распыления по сравнению с магнетронной распылительной системой на постоянном токе и ВЧ-распылением без магнитного поля.

## Лабораторная работа № 7.

1. Определение одномерных структур (нитевидные структуры, вискеры, ленты и др.). Аспектное отношение.
2. Отличия структуры и свойств одномерных структур от объемных образцов.
3. Суть метода термохимической активации, роль водорода (изучить статью Исмаилов А.М., Шапиев И.М., Рабаданов М.Х., Алиев И.Ш. Синтез эпитаксиальных пленок теллура методом термохимической активации // Письма в ЖТФ, 2015, том 41, вып. 2, с. 64-69).

### (6 семестр)

#### Модуль 3.

1. Узловая прямая.
2. Кристаллографическая плоскость.
3. Элементарная ячейка.
4. Постоянные решетки.
5. Виды симметрических преобразований.
6. Назовите отличительные особенности кристаллического и аморфного состояний
7. Сформулируйте теоремы о сложении элементов симметрии
8. Чем отличаются точечные группы от пространственных групп?
9. Чему равны координационные числа и число атомов, приходящиеся на одну ячейку для различных решеток?
10. Как обозначаются индексы узла, направления и плоскости в трехосной и четырехосной системах координат?
11. По каким формулам вычисляются объём элементарной ячейки, период идентичности, расстояние и угол между плоскостями?
12. Какая связь между линейными и угловыми параметрами элементарных ячеек прямой и обратной решеток?
13. Какова природа ионной, ковалентной, металлической и межмолекулярной связей?
14. Структуры, каких типов образуются с помощью названных типов связей?
15. Какие методы существуют для исследования структуры кристаллов? Назовите их преимущества и недостатки.
16. Какие дефекты структуры существуют в реальных кристаллах?
17. Какими методами можно исследовать совершенство структуры?

#### Модуль 4.

18. Рентгеновские аппараты.
19. Типы конструкций рентгеновских трубок.
20. Спектр в рентгеновском диапазоне.
21. Поглощение и рассеяние рентгеновских лучей в веществе.
22. Линейные коэффициенты поглощения, зависимость от длины волны и атомного номера.
23. Избирательное поглощение и фильтры
24. "Геометрическая" теория дифракции на трехмерной решетке рассеивающих центров.
25. Уравнение Вульфа-Брэгга.
26. Основные дифракционные схемы в представлении обратной решетки: метод Лауэ, метод порошка, метод вращения (качания), методы широко расходящегося пучка, дифрактометрия поликристаллического объекта и монокристалла.
27. Интенсивность рентгеновских рефлексов.
28. Рассеяние одной элементарной ячейкой.
29. Структурная амплитуда, вывод общего выражения
30. Этапы анализа неизвестной структуры.
31. Последовательность применения различных схем съемки при определении сингонии, решетки Браве, точечной и пространственной групп, числа атомов в элементарной ячейке.
32. Экспериментальные и расчетные методы определения координат атомов в ячейке.

**(7 семестр)**  
**Модуль 5.**

1. Зонная модель твердых тел
2. Ширина запрещенной зоны. Собственный и примесный полупроводник.
3. Донорные и акцепторные примеси.
4. Биполярная и монополярная проводимость полупроводников.
5. Энергетическая глубина примесных уровней.
6. Температурная зависимость проводимости
7. Природа эффекта Холла. Методы исследования эффекта холла
8. Каков механизм проводимости полупроводников?
9. Какова связь проводимости и подвижности носителей заряда?
10. Каковы основные отличия энергетических спектров металлов и полупроводников?
11. Как формируются мелкие примесные уровни?
12. Свойства *p-n* переходов.
13. Причины искривления зон при образовании *p-n* перехода.
14. Что такое плотность квантовых состояний?
15. Какова зависимость плотности квантовых состояний от энергии?
16. Распределение Ферми-Дирака для равновесных электронов и дырок. Уровень Ферми.
17. Получить общие формулы для концентраций равновесных электронов и дырок.
18. Положение уровня Ферми в собственном полупроводнике.
19. Оптическое поглощение, закон Бугера-Ламперта?
20. Каковы основные типы междузонного поглощения?
21. Что представляет собой экситонное поглощение?
22. Люминесценция, механизмы люминесценции?
23. Особенности свойств наночастиц?
24. Фотопроводимость, типы фотопроводимости?

**Модуль 6.**

1. Изучение работы рентгеновского дифрактометра.
2. Метод определения параметров решетки.
3. Метод Дебая-Шерера определения размеров кристаллитов.
4. Изучение описания к настольному сканирующему электронному микроскоп-анализатору ASPEXExpress.
5. Изучение описания к спектрометру EDX 800 HS
6. Изучение описания к профилометру и программируемой высокотемпературной печи.
7. Изучение описания к гидравлическому прессу.
8. Изучение метода одновременного исследования электросопротивления и теплового расширения твердых тел.
9. Изучение метода исследования электросопротивления керамических образцов в вакууме от азотных температур.
10. Основы метода гидростатического взвешивания.
11. Изучение метода получения керамики методом твердофазного спекания.
12. Основных свойств сверхпроводников первого и второго рода. Эффект Мейснера-Оксенфельда.
13. Особенности формирования и механизмы проводимости в полупроводниковых и сверхпроводящих материалах.
14. Расчеты эффективных значений электросопротивления пористых образцов.
15. Анализ результатов исследования электросопротивления, оценка погрешностей, пересчет значений на нулевую пористость

## 16. Составление отчета по проделанным исследованиям.

### (8 семестр)

#### Модуль 7.

##### **Лабораторная работа №1.**

1. Зонная теория твердого тела. Особенности зонной структуры полупроводников.
2. Ширина запрещенной зоны. Собственные и примесных полупроводники, энергия активации примеси.
3. Механизмы электропроводности собственных и примесных полупроводников.
4. Температурная зависимость электропроводности полупроводников.
5. Методика определения ширины запрещенной зоны и энергия активации примеси по температурной зависимости удельной электропроводности.

##### **Лабораторная работа №2.**

1. Четырехзондовый метод измерения электросопротивления полупроводников, область применения, его преимущества и недостатки.
2. Задача о распределении потенциала электрического поля вблизи зонда. Вывод расчетных формул.
3. Схема и принцип работы экспериментальной установки.
4. Методика определения удельного электросопротивления объемного образца и тонкой пленки.
5. Особенности измерения удельного сопротивления полупроводников методом Ван-дер-Пау.

##### **Лабораторная работа № 3.**

1. Гальваномагнитные явления, эффект Холла.
2. Вывод выражения для поперечной э.д.с, параметры, определяющие величину э.д.с. Холла.
3. Зависимость эффекта Холла от температуры.
4. Физическая информация, получаемая при исследовании эффекта Холла.
5. Схема измерительной установки.
6. Источники систематических погрешностей в холловских измерениях и влияние геометрии контактов на результаты измерений.

##### **Лабораторная работа № 4.**

1. Прохождение микрочастицы сквозь одномерный прямоугольный потенциальный барьер, туннельный эффект и квантово-механическое его толкование.
2. Выражения для коэффициентов прозрачности потенциальных барьеров разной формы.
3. Энергетическая диаграмма р-п- перехода на базе вырожденных полупроводников.
4. ВАХ туннельного диода и его анализ.
5. Примеры явлений, в основе которых лежит явление туннелирования микрочастиц.

#### Модуль 8.

##### **Лабораторная работа № 5.**

1. Явление фотопроводимости полупроводников, генерация и рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках.
2. Красная граница фотопроводимости собственного и примесного полупроводника.
3. Кинетика релаксации фотопроводимости и вывод выражения, описывающего её.



4. Методика определения времени жизни неосновных носителей заряда по наблюдению процесса релаксации фотопроводимости при освещении полупроводника прямоугольными импульсами света.

#### **Лабораторная работа № 6.**

1. Уравнения непрерывности в полупроводниках.
2. Неравновесные процессы и законы их протекания во времени (кинетика), неравновесные носители заряда.
3. Диффузия, дрейф и рекомбинация неравновесных носителей заряда.
4. Измерение дрейфовой подвижности.
5. Определение диффузионной длины, коэффициента диффузии.

#### **Лабораторная работа № 7.**

1. Виды оптических переходов и оптического поглощения фотонов в полупроводниках.
2. Коэффициенты пропускания и отражения света и зависимость их от длины световой волны и температуры.
3. Определение параметров полупроводниковых материалов методом оптического поглощения.

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

#### **7.1. 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 - 50% и промежуточного контроля - 50%.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий - 10 баллов,
- получение допусков к лабораторным работам – 20 баллов
- выполнение лабораторных заданий – 20 баллов,

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- ведение лабораторного журнала – 10 баллов,
- составление отчетов по выполненным работам – 20 баллов,
- защита лабораторных работ - 20 баллов.

### **8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.**

#### **а) основная литература:**

1. Кузьмичев А.И. Магнетронные распылительные системы. Кн.1. Введение в физику и технику магнетронного распыления. - К.: Аверс, 2008. -244с.
2. Электронно-библиотечная система (ЭБС) IPRbooks ([www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru)). Лицензионный договор № 6984/20 на электронно-библиотечную систему IPRbooks
3. Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии. -М.: Мир,1985. - 496 с.
4. Холлэнд Л. Нанесение тонких пленок в вакууме. -М.: Госэнергоиздат,1963.
5. Карапетьянц М.Х. Химическая термодинамика. -М.: Химия, 1975. -584 с.
6. Батавин В.В., Концевой Ю.А., Федорович Ю.В. Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур. – М.: Радио и связь, 1985. 264с.
7. Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов: Учеб. Для вузов по спец.” Полупроводниковые и микроэлектронные приборы”.

- М.: ВШ, 1987. – 239 с.
8. Лысов В.Ф. Практикум по физике полупроводников. Учебное пособие. М., «Просв», 1976, 207 с.
  9. Специальный физический практикум, ч.2, под редакцией А.А. Харламова, издание 3. Из-во Моск. ун-та, 1977 г.
  10. Черевко А.Г. Физика конденсированного состояния. Часть 1. Кристаллы и их тепловые свойства [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Г. Черевко. - Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016. — 81 с. — 2227-8397. <http://www.iprbookshop.ru/69566.html>
  11. Егоров-Тисменко Ю. К. Кристаллография и кристаллохимия: учебник / Ю. К. Егоров-Тисменко ; под ред. академика В. С. Урусова . — М.: КДУ, 2005. — 592 с [http://geo.web.ru/~ujin/books/Crystallography\\_and\\_crystallochemistry.pdf](http://geo.web.ru/~ujin/books/Crystallography_and_crystallochemistry.pdf)
  12. Волков В. В., Исследование структуры наносистем методом малоуглового рентгеновского и нейтронного рассеяния / В. В. Волков // [http://nano.msu.ru/files/materials/VII\\_2009/expmethods/lecture10.pdf](http://nano.msu.ru/files/materials/VII_2009/expmethods/lecture10.pdf)
  13. Шаскольская, Марианна Петровна. Кристаллография: [учебник для вузов] / Шаскольская, Марианна Петровна. - М. : Высш. шк., 1984, 1976. -: ил.; 22 см. - Список. лит.: с. 384. - Предм. указ.: с. 396-389. - 1-52. Оптика наноструктур [Электронный ресурс]: методические рекомендации / Т.А. Вартамян [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2008. — 113 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/67425.html>
  14. Рабаданов М.Х. Гасанов Н.Г., Эмиров Р. М. Рентгенодифракционные методы исследования кристаллов/ Учебное пособие. – Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2014 . – 118 с.

#### **б) дополнительная литература:**

1. Берлин Е.В., Сейдман Л.А. Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии. -М.: Техносфера, 2010. -528 с.
2. Технология тонких пленок (справочник). Т.1 / Под ред. Л. Майселла, Р. Глэнга. -М.: Сов. Радио, 1977.
3. Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Лабунин В.А., Данилович Н.И., Уксусов А.С., Минайчев В.Е. Современные магнетронные распылительные устройства//Зарубежная электронная техника. 1982. Вып. 10(256). С.3 - 62.
6. Шелинский Г.И. Основы теории химических процессов: Пособие для учителя. - М.: Просвещение, 1989. -192 с.
7. Шефер Г. Химические транспортные реакции. М.: Мир, 1964. -189 с.
8. Ормонт Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. – М.: ВШ, – 1982
9. Киреев П.С. Физика полупроводников. Учебное пособие для вузов. М.: ВШ, 1975.
10. В.В.Епифанов, Ю.А.Мома Физические основы конструирования и технологии РЭА и ЭВА. – М.: Сов. Радио, 1979. – 352 с.
11. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. Учеб. Для студ. Вузов. – М.: Высш. Шк., 1986. – 367 с.
12. Твердотельная электроника и контактные явления: учебно-

13. методическое пособие. Лабораторный практикум (часть 1) / сост. Алиев И.Ш., Исмаилов А.М., Гасанова Р.Н. – Махачкала: Изд-во ДГУ, 2015. – 77с.
14. Белов Н.П. Основы кристаллографии и кристаллофизики. Часть I. Введение в 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>
15. Рентгеноструктурный анализ веществ [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторной работе / И.А. Коваленко [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2010. — 24 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22926.html>
16. Кузьмичева, Г. М. Рентгенография наноразмерных объектов. Часть 1 [Текст]: учебное пособие / Г. М. Кузьмичева. – М.: МИТХТ им. Ломоносова, 2010. – 81 с.
17. Чупрунов, Е. В. Рентгеновские методы исследования твердых тел. Учебно-методические материалы по программе повышения квалификации. «Физико-химические основы нанотехнологий» / Е. В. Чупрунов, М. А. Фаддеев, Е. В. Алексеев // ННГУ. Нижний Новгород, 2007. С. 194.

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

1. Лицензионное соглашение № 6984/20 на использование адаптированных технологий ЭБС IPRbooks ([www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru)) для лиц с ОВЗ
2. Электронно-библиотечная система (ЭБС) «Университетская библиотека онлайн»: [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru). Договор об оказании информационных услуг № 131-09/2010
3. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com/>. Договор № СЭБ НВ-278 на электронно-библиотечную систему ЛАНЬ от 20.10.2020 г.
4. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>. Лицензионное соглашение № 844 от 01.08.2014 г.
5. Национальная электронная библиотека <https://нэб.рф/>. Договор №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 о предоставлении доступа к Национальной электронной библиотеке от 1 августа 2016 г. Срок действия договора с 01.08.2016 г. без ограничения срока. Договор может пролонгироваться неограниченное количество раз, если ни одна из сторон не желает его расторгнуть.
6. Scopus  
Scopus издательства Elsevier B.V. Письмо РФФИ от 19.10.2020 г. № 1189 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию базы данных Scopus издательства Elsevier B.V. в 2022 г. <https://www.scopus.com>
7. Wiley Online Library  
Коллекция журналов Freedom Collection издательства Elsevier. Письмо РФФИ от 17.07.2010 г. № 742 о предоставлении лицензионного доступа к электронному ресурсу Freedom Collection издательства Elsevier в 2022 г. <https://onlinelibrary.wiley.com/>
8. Международное издательство Springer Nature  
Коллекция журналов, книг и баз данных издательства Springer Nature. Письмо РФФИ от 17.07.2020 г. № 743 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных издательства Springer Nature в 2022 г. на условиях национальной подписки <https://link.springer.com/>

9. Журналы American Physical Society  
Базы данных APS (American Physical Society). Письмо РФФИ от 10.11.2020 г. № 1265 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных American Physical Society в 2022 г. <http://journals.aps.org/about>
10. Журналы Royal Society of Chemistry  
База данных RSC DATABASE издательства Royal Society of Chemistry Письмо РФФИ от 20.10.2020 г. № 1196 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных Royal Society of Chemistry в 2022 г. <http://pubs.rsc.org/>
11. Журнал Science (AAAS) <http://www.sciencemag.org/>
12. Единое окно <http://window.edu.ru/> (интернет ресурс)
13. Дагестанский региональный ресурсный центр <http://rrc.dgu.ru/>
14. Нэикон <http://archive.neicon.ru/>

### **10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Лабораторные работы по «Технологии получения полупроводниковых материалов и структур» (1 и 2 модули) выполняются одновременно всей группой. Это связано с тем, что для выполнения этих работ требуется значительное время (5-6 часов). Лабораторные работы по «Методам измерения параметров полупроводников» (3 и 4 модули) выполняются индивидуально подгруппами в составе не более двух магистров.

На первом, вводном занятии до студентов доводится содержание и календарный план проведения практикума, указывается число баллов, которое может набрать студент при выполнении лабораторного практикума в соответствии с действующей в вузе рейтинговой системой со 100-балльной шкалой оценок. Проводится инструктаж по технике безопасности при выполнении работ с оформлением в соответствующем журнале. На этом же занятии преподаватель выдает задания по лабораторным работам.

Перед каждой лабораторной работой магистр сдает краткий коллоквиум, отражающий уровень предварительной подготовки к выполнению работы. Коллоквиум проводится в виде устного собеседования с преподавателем.

Все данные, полученные в ходе работы, записываются в отдельной тетради, которая является рабочим журналом по лабораторному практикуму.

По каждой лабораторной работе в журнал заносятся:

- название работы;
- задание на выполнение работы;
- план работы (упражнения);
- схема установки;
- первичные экспериментальные данные в виде таблиц без каких-либо пересчетов или преобразований;
- результаты предварительной обработки данных в объеме, необходимом для определения их полноты и надежности.

По окончании работы лабораторный журнал подписывается преподавателем.

По итогам каждой лабораторной работы оформляется отчет, который сдается преподавателю на следующем после выполнения данной работы занятии.

Отчет должен включать:

- краткое теоретическое введение, отражающее устройство, принцип действия и назначение исследуемого прибора;
- задание на выполнение работы;

- план проведения эксперимента (упражнений);
- схему установки и ее краткое описание;
- результаты и их обсуждение, в том числе анализ погрешности эксперимента, методику обработки результатов,
- теоретические расчеты, анализ полученных данных и сравнение их с литературными;
- выводы;
- список использованной литературы.

По итогам каждой лабораторной работы преподаватель выставляет оценку, учитывающую предварительную подготовку, объем и качество экспериментальной части работы, глубину обсуждения результатов и качество отчета.

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

1. Программное обеспечение для лекций: MS PowerPoint (MS PowerPointViewer), AdobeAcrobatReader, средство просмотра изображений, табличный процессор.
2. Программное обеспечение в компьютерный класс: MS PowerPoint (MS PowerPointViewer), AdobeAcrobatReader, средство просмотра изображений, Интернет, E-mail.

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

Лабораторные работы по «Технологии получения полупроводниковых материалов и структур» выполняются в «Научно-исследовательской лаборатории физики тонких пленок» кафедры физической электроники. Лаборатория оснащена современным технологическим оборудованием на базе сухих спиральных (безмасляных) форвакуумных и высоковакуумных криогенных насосов.

Лабораторные работы по «Методам измерения параметров полупроводников» проводятся в «Лаборатории физики полупроводников» и «Лаборатория радиофизики и электротехники» кафедры «Физической электроники». Лабораторные работы, обеспечены необходимым оборудованием, приборами и специализированными стенд.

Лабораторные работы по 3-6 модулям выполняются в лабораториях НОЦ «Нанотехнологии», оснащенных необходимым и современным оборудованием, в том числе: многоцелевой рентгеновский дифрактометр «Empyrian series 2» (Рентгеновский порошковый дифрактометр «Empyrean series 2» (Фирма PANalytical (Голландия)) с вертикально расположенным гониометром высокого разрешения). Обработка экспериментальных результатов осуществляется с помощью специальных компьютерных программ

