



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Физический факультет

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Кафедра физической электроники

Образовательная программа
03.03.02- Физика

Профиль подготовки:

Фундаментальная физика

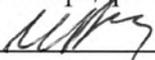
Уровень высшего образования: **Бакалавриат**

Форма обучения: **Очная**

Статус дисциплины: **(по выбору)**

Махачкала – 2021

Рабочая программа дисциплины «*Технология полупроводниковых материалов*» составлена в 2021 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 03.03.02 Физика от «07» августа 2020 г. №891.

Разработчик: кафедра физической электроники, Исмаилов А.М., к.ф.-м.н., доцент 

Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании кафедры физической электроники от «21» мая 2021 г., протокол № 9.

Зав. кафедрой  Омаров О.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от «30» июня 2021 г., протокол №10.

Председатель  Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением «9» июля 2021 г.  Гасангаджиева А.Г.

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Технология полупроводниковых материалов» входит в вариативную часть в блок дисциплин по выбору образовательной программы бакалавриата по направлению 03.03.02 – Физика, профилю подготовки «Фундаментальная физика». Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой физической электроники. Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных со строением и свойствами твердых тел (кристаллических и аморфных) и происходящих в них физических явлениях. Дисциплина направлена на формирование следующих компетенций выпускника: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач **(УК-1)**. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности **(ОПК-1)**. Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации, проводить эксперименты и оформлять результаты **(ПК-8)**. Способен понимать теорию и методы исследования физики конденсированного состояния вещества **(ПК-11)**. Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, практические занятия, самостоятельная работа. Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости: контрольные работы, устный опрос, защита рефератов, итоговый контроль в форме зачета. Объем дисциплины - 2 зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий 72 ч.

Семестр	Учебные занятия							СРС, в том числе экза- мен	Форма промежу- точной аттеста- ции (зачет, диф- ференцированный зачет, экзамен
	в том числе:								
	всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем					СРС, в том числе экза- мен		
		всего	из них						
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации			
7	72	56	28	-	28	-	-	16	зачет

1. Цели и задачи дисциплины.

Целью освоения дисциплины является: - ознакомление студентов с классификацией полупроводниковых материалов и их основными электрофизическими свойствами; - освоение студентами того факта, что целенаправленным изменением дефектной структуры полупроводников можно управлять их электрофизическими свойствами с целью получения материалов с необходимыми свойствами; - ознакомление студентов с основными технологическими методами получения объемных кристаллов, тонких пленок, наноструктур полупроводниковых материалов. Основными задачами дисциплины являются: - формирование у студентов необходимых знаний основных законов, определяющих электрофизические свойства полупроводникового материала с различным структурным совершенством (кристалл, поликристалл, текстура, аморфное состояние); - ознакомление студентов с основными подходами в области технологии изготовления полупроводниковых материалов в виде монокристаллов, тонких пленок и наноструктур; - обобщение знаний студентов для целенаправленного их использования при создании элементов, приборов и устройств на базе полупроводниковых материалов; - формирование знаний студентов в области современных тенденций развития полупроводникового материаловедения. Прогресс различных областей электроники и электротехники неразрывно связан с прогрессом в получении различных новых материалов, в том числе полупроводниковых материалов и структур и в изготовлении на их основе новых полупроводниковых приборов и интегральных схем. В данном спецкурсе «Полупроводниковые материалы» рассмотрены основные технологические процессы изготовления полупроводниковых материалов и структур, такие как выращивание и очистка полупроводников, легирование, получение полупроводниковых монокристаллов, тонких пленок и наноструктур. Получение студентами знания и умения при изучении данного курса необходимы при выполнении курсовых и квалификационных работ.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата.

Дисциплина «Технология полупроводниковых материалов» входит в вариативную по выбору часть образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 03.03.02. – Физика. Данная дисциплина призвана выработать профессиональные навыки, связанные со способностью использовать теоретические знания в области полупроводниковой техники и технологии, материаловедения, квантовой электроники, микроэлектроники. Студенты, изучающие данную дисциплину, должны иметь базовые знания по: курсу общей физики, спецкурсам «Физика полупроводников», «Физика твердого тела», «Основы кристаллографии». Дисциплины, для которых освоение данной дисциплины

плины (модуля) необходимо как предшествующее: «Физика полупроводников», «Физика кристаллизации», «Физические основы микроэлектроники», «Контактные явления», «Наноэлектроника», «Методы исследования параметров полупроводников». 3. Общая трудоемкость дисциплины 2 зачетные единицы (72 академических часа). 4. Формы контроля Промежуточная аттестация – зачет (6 семестр).

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

Код компетенции из ФГОС ВО	Наименование компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения
УК-1	способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	<p>Знает: основные методы критического анализа; методологию системного подхода, принципы научного познания.</p> <p>Умеет: 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</p> <p>Владеет: навыками критического анализа.</p>
ОПК-1	способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	<p>Знает: - физико-математический аппарат, необходимый для решения задач профессиональной деятельности - тенденции и перспективы развития современной физики, а также смежных областей науки и техники.</p> <p>Умеет: - выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, анализировать и обрабатывать соответствующую научнотехническую литературу с учетом зарубежного опыта.</p> <p>Владеет: - навыками находить и критически анализировать информацию, выявлять естественнонаучную сущность проблем</p>
ПК-8	способен проводить работы по обработке и анализу научнотехнической информации, проводить	<p>Знает: методы исследований, проведения, обработки и анализа результатов испытаний и</p>

	эксперименты и оформлять результаты	<p>измерений; критерии выбора методов и методик исследований.</p> <p>Умеет: проводить испытания, измерения и обработку результатов; регистрировать показания приборов; проводить расчёты критически анализировать результаты делать выводы.</p> <p>Владеет: выбором испытательного и измерительного оборудования, необходимого для проведения исследований; выполнением оценки и обработки результатов исследования.</p>
ПК-11	способен понимать теорию и методы исследования физики конденсированного состояния вещества	<p>Знает: типы связей в конденсированных средах, классификацию веществ – металлы полупроводники и диэлектрики; связь структуры и свойств конденсированных сред; диаграммы состояния многоатомных материалов.</p> <p>Умеет: оценивать тип связи в конденсированных средах согласно их классификации – металлы полупроводники и диэлектрики; строить бинарные диаграммы состояния материалов.</p> <p>Владеет: знаниями об энергии взаимодействия между атомами для различных типов связей; знаниями по расшифровке диаграмм состояния многоатомных материалов.</p>

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Контроль самост. раб.		
Модуль 1.									
1	Введение, предмет и задачи курса. Наука о материалах, полупроводниковое материаловедение. Классификация полупроводниковых материалов.	7		2	6			4	Устный опрос
2	Структурное совершенство вещества (монокристалл, поликристалл, текстура, аморфное состояние). Основные электрофизические свойства полупроводников.	7		3	4			2	Устный опрос
3	Основы кристаллохимии полупроводников. Управление дефектами в кристаллах.	7		3	2			2	Устный опрос
4	Элементарные полупроводники (структура, свойства, применение).	7		2	4			2	Устный опрос
	<i>Итого по модулю 1:</i>			10	16			10	Контрольная работа, коллоквиум.
Модуль 2.									

1	Широкозонные полупроводники.	7		2	4		2	Устный опрос
2	Технология объемных полупроводниковых материалов.	7		2	4		2	Устный опрос
3	Полупроводниковые пленки, наноструктуры.	7		2	6		2	Устный опрос
4	Перспективные полупроводниковые материалы.	7		2	4		2	Устный опрос
	<i>Итого по модулю 2:</i>			8	18		10	Контрольная работа, коллоквиум.
	Всего за семестр 72 часа			18	34		20	Зачет

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

Модуль 1.

Тема 1. Предмет и задачи курса. Наука о материалах, полупроводниковое материаловедение. Классификация полупроводниковых материалов (элементарные, оксидные, широкозонные, двойные полупроводниковые вещества, тройные полупроводниковые соединения, четверные полупроводниковые фазы, некристаллические полупроводники). Чистота полупроводниковых материалов и их маркировка. Роль полупроводниковых материалов в развитии элементной базы электроники.

Тема 2. Понятие о кристалле (кристаллическая решетка, кристаллическая структура, базис, элементарная ячейка). Поликристалл, кристаллит, межкристаллитные границы и их влияние на свойства материала. Преимущественная ориентация кристаллитов, текстура. Аморфное состояние вещества (аморфный кремний, металлические стекла). Качественная оценка структурного совершенства вещества по данным электронной и рентгеновской дифракции.

Тема 3. Основные понятия кристаллохимии (атомные и ионные радиусы, координационное число, плотнейшие упаковки частиц в структурах, основные типы кристаллических структур). Классификация дефектов. Линейные и винтовые дислокации, границы зерен. Управление дефектами в кристаллах, зависимость физических свойств от дефектности кристалла (структурно-чувстви-

тельные свойства). Квазихимический метод описания дефектов, закон действующих масс. Равновесная концентрация точечных дефектов (термодинамический расчет дефектов по Френкелю и Шоттки).

Тема 4. Элементарные полупроводники (структура, свойства, применение). Получение и основные свойства германия, кремния, арсенида галлия. Теллур (тонкие пленки, наноструктуры) – перспективный материал для газовых сенсоров.

Модуль 2.

Тема 1. Широкозонные полупроводники. Нитриды галлия, алюминия, индия. Технологические аспекты, проблемы выращивания объемных кристаллов). Гетероэпитаксия и подложки (МЛЭ, химическое осаждение из паровой фазы с использованием металлоорганических соединений). Приборы на основе III-нитридов, светодиодное освещение. Карбид кремния, мощные светодиоды. Оксид цинка, проблемы технологии, наноструктуры, применения, перспективы. Перспективные области применения широкозонных материалов и приборов, экстремальная электроника.

Тема 2. Выращивание монокристаллов полупроводников методом Чохральского. Влияние условий выращивания на размеры и качество монокристаллов. Очистка полупроводниковых материалов методом зонной плавки. Легирование полупроводников. Получение объемных кристаллов полупроводников из газовой фазы. Метод химических транспортных реакций.

Тема 3. Полупроводниковые тонкие пленки, определения. Основы теории зародышеобразования. Термодинамические условия гетерогенного зародышеобразования. Основные механизмы роста пленок на подложках (зародышевый механизм роста *Фольмера-Фебера*; послойный механизм роста *Франка-Вандер-Мерве*; смешанный механизм роста *СтранскогоКрастанова*). 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. Зависимость проводимости тонкой пленки от толщины. Система кремний на изоляторе (КНИ), кремний на сапфире (КНС), технология, свойства, преимущества. Основные методы получения тонких пленок.

Полупроводниковые наноструктуры (квантовая яма, квантовая нить, квантовая точка). Технология получения полупроводниковых наноструктур, свойства, применения.

Тема 4. Перспективные полупроводниковые материалы в различных областях электроники (микроэлектроника, солнечная энергетика, фотоэлектроника, функциональная электроника, экстремальная электроника, светодиодная техника).

Содержание лекционных занятий

Модуль 1.	
Тема 1	<u>Лекция 1.</u> Предмет и задачи курса. Наука о материалах, полупроводниковое материаловедение. Классификация полупроводниковых материалов (элементарные, оксидные, широкозонные, двойные полупроводниковые вещества, тройные полупроводниковые соединения, четверные полупроводниковые фазы, некристаллические полупроводники).
Тема 2	<u>Лекция 2.</u> Понятие о кристалле (кристаллическая решетка, кристаллическая структура, базис, элементарная ячейка). Поликристалл, кристаллит, межкристаллитные границы и их влияние на свойства материала. Преимущественная ориентация кристаллитов, текстура. Аморфное состояние вещества (аморфный кремний, металлические стекла).
Тема 3	<u>Лекция 3.</u> Основные понятия кристаллохимии (атомные и ионные радиусы, координационное число, плотнейшие упаковки частиц в структурах, основные типы кристаллических структур). Классификация дефектов. Линейные и винтовые дислокации, границы зерен. Управление дефектами в кристаллах, зависимость физических свойств от дефектности кристалла (структурно-чувствительные свойства).
Тема 4	<u>Лекция 4.</u> Элементарные полупроводники (структура, свойства, применение).
Модуль 2.	
Тема 1.	<u>Лекция 5.</u> Широкозонные полупроводники. Нитриды галлия, алюминия, индия. Технологические аспекты, проблемы выращивания объемных кристаллов). Гетероэпитаксия и подложки (МЛЭ, химическое осаждение из паровой фазы с использованием металл-органических соединений).
Тема 2.	<u>Лекция 6.</u> Выращивание монокристаллов полупроводников методом Чохральского. Влияние условий выращивания на размеры и качество монокристаллов. Очистка полупроводниковых материалов методом зонной плавки.

<p>Тема 3.</p>	<p><u>Лекция 7.</u> Полупроводниковые тонкие пленки, определения. Основы теории зародышеобразования. Термодинамические условия гетерогенного зародышеобразования. Основные механизмы роста пленок на подложках (зародышевый механизм роста <i>Фольмера-Фебера</i>; послойный механизм роста <i>Франка-ван-дер-Мерве</i>; смешанный механизм роста <i>Странского-Крастанова</i>). 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. Зависимость проводимости тонкой пленки от толщины. Система кремний на изоляторе (КНИ), кремний на сапфире (КНС), технология, свойства, преимущества. Основные методы получения тонких пленок.</p>
<p>Тема 3.</p>	<p><u>Лекция 8.</u> Перспективные полупроводниковые материалы в различных областях электроники (микроэлектроника, солнечная энергетика, фотоэлектроника, функциональная электроника, экстремальная электроника, светодиодная техника).</p>

Темы практических занятий

<p style="text-align: center;">Темы практических (семинарских) занятий</p>	
<p style="text-align: center;">Модуль 1.</p>	
<p>Тема 1</p>	<p>1. Чистота полупроводниковых материалов и их маркировка. 2. Роль полупроводниковых материалов в развитии элементной базы электроники.</p>
<p>Тема 2.</p>	<p>1. Качественная оценка структурного совершенства вещества по данным электронной и рентгеновской дифракции. 2. Экспериментальные дифракционные методы. Посещение лаборатории рентгеноструктурного анализа.</p>
<p>Тема 3.</p>	<p>1. Квазихимический метод описания дефектов, закон действующих масс. 2. Равновесная концентрация точечных дефектов (термодинамический расчет дефектов по Френкелю и Шоттки).</p>
<p>Тема 4.</p>	<p>1. Получение и основные свойства германия, кремния, арсенида галлия. 2. Теллур (тонкие пленки, наноструктуры) – перспективный материал для газовых сенсоров.</p>
<p style="text-align: center;">Модуль 2.</p>	

Тема 1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Приборы на основе III-нитридов, светодиодное освещение. Карбид кремния, мощные светодиоды. 2. Оксид цинка, проблемы технологии, наноструктуры, применения, перспективы. 3. Перспективные области применения широкозонных материалов и приборов, экстремальная электроника.
Тема 2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Легирование полупроводников. Получение объемных кристаллов полупроводников из газовой фазы. 2. Метод химических транспортных реакций.
Тема 3	<ol style="list-style-type: none"> 1. Полупроводниковые наноструктуры (квантовая яма, квантовая нить, квантовая точка). 2. Технология получения полупроводниковых наноструктур, свойства, применения.
Тема 4	<p>Обсуждение докладов студентов.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Перспективные полупроводниковые материалы в микроэлектронике. 2. Перспективные полупроводниковые материалы солнечной энергетики. 3. Перспективные полупроводниковые материалы функциональная электроника. 4. Перспективные полупроводниковые материалы фотоэлектроники. 5. Перспективные полупроводниковые материалы экстремальная электроника. 6. Перспективные полупроводниковые материалы для светодиодной технологии.

5. Образовательные технологии

1. Формы проведения занятий: лекции, практические (семинарские) занятия, контрольные работы, коллоквиумы, зачет.
2. Предусмотрено проведение проблемной лекции с приглашением специалистов из Дагестанского научного центра РАН, занимающихся исследованиями в области физики полупроводников.
3. Лекционные демонстрации:

- коллекция природных и искусственных кристаллов (кварц, оксид цинка (гидротермальный метод), монокристаллические пластинки кремния, германия, арсенида галлия, антимонида индия (метод Чохральского), галлийгадолиниевый гранат и др.).

4. Посещение лабораторий физического факультета (в конце семинарских занятий, продолжительность 15-30 минут):

- Научно-исследовательская лаборатория физики тонких пленок (электронограф ЭГ-75 – демонстрация дифракции быстрых электронов на отражение; технологические установки для синтеза кристаллов, слоев и тонких пленок различных веществ (метод термовакuumного напыления, метод магнетронного распыления, метод химических транспортных реакций). - Лаборатория рентгеновской дифракции (порошковый дифрактометр Empyrean Series 2 (PANalytical, Нидерланды) – демонстрация метода порошка).

- Лаборатория зондовой микроскопии (комплекс Ntegra_Spectra НТ-МДТ, Россия – общие принципы работы атомно-силового микроскопа (АСМ) и сканирующего туннельного микроскопа (СТМ)).

- Лаборатория растровой электронной микроскопии (общее ознакомление с принципом работы растрового электронного микроскопа)

- 5. Тематические коллекции видеороликов из сети Интернет.

6. По лекционному материалу подготовлено учебное пособие, конспекты лекций в электронной форме и на бумажном носителе, большая часть теоретического материала излагается с применением слайдов (презентаций) в программе PowerPoint. Не всегда удается изложить весь материал на лекциях, поэтому вывод формул, более детальное рассмотрение некоторых вопросов выносятся студентам на самостоятельное изучение. Трудно проводить четкую грань между лекционными и практическими занятиями. Поэтому допускается комбинированные формы проведения занятий, такие как лекционно-практические занятия.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы магистров.

На самостоятельную работу выносятся часть лекционного материала для более полного освоения. Например, вывод формул целесообразно перенести на самостоятельную работу, сэкономив время лекции для охвата вопросов общего характера. Изучать дисциплину рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе учебной дисциплины. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об изучаемых вопросах, а также отметить трудные и неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретиче-

ские положения, математические зависимости и выводы. Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее формулировки законов и основных понятий, новые незнакомые термины и названия, формулы, уравнения, математические зависимости и их выводы, так как при записи материал значительно лучше усваивается и запоминается. Самостоятельная работа студента:

- проработка учебного материала (по конспектам лекций, учебной литературе);
- поиск и обзор научных публикаций и электронных источников по тематике дисциплины;
- работа с тестами и вопросами для самопроверки;
- написание рефератов;
- изучение теоретического материала при подготовке к практическим занятиям; - итоговое повторение теоретического материала при подготовке к зачету.

Для самостоятельного изучения дисциплины выносятся часть материала по всем темам дисциплины с самоконтролем по контрольным вопросам. Кроме того, для контроля самостоятельной работы на лекционных занятиях предусматриваются экспресс-опросы.

Темы для рефератов.

1. Элементарные полупроводники Si, Ge, структура и физические свойства.
2. Управление дефектами в полупроводниках.
3. Электронная, рентгеновская, нейтронная, ионная дифракция в кристаллах.
4. Использование синхротронного излучения в дифракции кристаллов.
5. Полупроводники со смешанным (ковалентно-ионным) типом химической связи.
6. Кристаллическая структура типа вюрцита.
7. Кристаллохимическая особенность структуры оксида цинка.
8. Широкозонные полупроводники: алмаз, структура, свойства, полупроводники.
9. Перспективные полупроводниковые материалы в микроэлектронике.
10. Перспективные полупроводниковые материалы солнечной энергетики.

11. Перспективные полупроводниковые материалы функциональная электроника.
12. Перспективные полупроводниковые материалы фотоэлектроники.
13. Перспективные полупроводниковые материалы экстремальная электроника.
14. Перспективные полупроводниковые материалы для светодиодной технологии.

Промежуточный контроль.

В течение семестра студенты выполняют:

- домашние задания, выполнение которых контролируется и при необходимости обсуждается на практических занятиях;
- промежуточные контрольные работы (в конце модуля).

Итоговый контроль.

Зачет в конце семестра по результатам баллов двух модулей, итоговой тестовой контрольной, защищенного реферата на заданную тему.

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

Фонды оценочных средств (контрольные вопросы и типовые задания для практических занятий, зачета; тесты и компьютерные тестирующие программы, примерную тематику рефератов и т.п., а также иные формы контроля, позволяющие оценить степень сформированности компетенций обучающихся) для проведения текущего, промежуточного и итогового контроля успеваемости и промежуточной аттестации имеются на кафедре.

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

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

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

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

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

7.1. Типовые контрольные задания

Коллоквиум №1

Вариант №1

1. Кристаллическая решетка, базис, кристаллическая структура. Элементарная ячейка, основные типы кристаллических решеток.
2. Определить символ направления, проходящего через начало координат O и точку с координатами $(a/8, 3b/8, 5c/8)$.

Вариант №2

1. Точечная симметрия кристаллов, основные элементы симметрии. Кристаллографическая система координат, кристаллографические символы узлов, прямых, плоскостей.
2. Определить символ направления, проходящего через точки $A(0, b/2, c/2)$ и $B(a/2, 0, c/2)$.

Вариант №3

1. Закон Брэгга, условия дифракции Лауэ, вектор рассеяния. Обратная решетка. Построение Эвальда. Зоны Бриллюэна.
2. Определить символ направления, если прямая проходит через узлы решетки с индексами $[\bar{3}22]$ и $[110]$.

Вариант №4

1. Структурный фактор базиса, атомный фактор рассеяния. Экспериментальные дифракционные методы.
2. У кристалла ромбической серы грань (hkl) лежит на пересечении зон $[\bar{2}30]$ и $[04\bar{1}]$. Чему равны индексы (hkl) ?

Вариант №5

1. Классификация твердых тел по типу связи. Взаимодействие атомов в двухатомной молекуле, энергия связи кристалла.
2. Вычислить относительную долю пространства F , заполненного сферами для гранецентрированной кубической структуры ($Z = 4$ – число, шаров, приходящихся на элементарную ячейку).

Вариант №6

1. Энергия связи кристалла. Молекулярные кристаллы. Ионные кристаллы, постоянная Маделунга. Ковалентные кристаллы. Относительная ионность связи.
2. Вычислить постоянную Маделунга A для линейной цепочки равноудаленных ионов с чередующимися положительными и отрицательными ионами.

Вариант №7

1. Классификация дефектов. Равновесная концентрация точечных дефектов (термодинамический расчет дефектов по Френкелю и Шоттки).
2. Для кубической гранецентрированной ячейки на объем ячейки приходится четыре шара радиусом R . Чему равен коэффициент компактности?

Вариант №8

1. Линейные и винтовые дислокации, границы зерен. Квазихимический метод описания дефектов. Зависимость физических свойств от дефектности кристалла.
2. Какова относительная доля вакансий n/N , для меди при термодинамической температуре 1000К. Энергия образования вакансии в меди составляет $\sim 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж?

Вариант №9

1. Основные типы кристаллических решеток. Точечная симметрия кристаллов, основные элементы симметрии. Кристаллографические символы узлов, прямых, плоскостей.
2. Чему равна постоянная n в формуле $U = \frac{b}{r^n}$ для $NaCl$, если $Z_1 = Z_2 = 1$, $\alpha = 1,748$, $\gamma = 2$, $r_0 = 2,82 \cdot 10^{-10}$ м, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, $\kappa = 3,3 \cdot 10^{-11}$ м²/Н?

Вариант №10

1. Закон Брэгга, условия дифракции Лауэ, вектор рассеяния. Обратная решетка. Построение Эвальда. Зоны Бриллюэна. Экспериментальные дифракционные методы.
2. Для простой кубической ячейки на объем ячейки приходится один шар радиусом R . Чему равен коэффициент компактности?

Коллоквиум №2

Вариант №1

1. Уравнение Шредингера для твердого тела. Адиабатическое приближение, валентная аппроксимация, одноэлектронное приближение. Функции Блоха. Волновой вектор, его свойства в кристалле.
2. Чему равна теплоемкость C_V при температуре $T = 1\text{К}$, если его $\theta_D = 450\text{К}$.

Вариант №2

1. Квантовая статистика Ферми-Дирака. Концентрация носителей заряда для собственного и примесного полупроводника.
2. В кристалл германия ввели мышьяк с концентрацией $5 \cdot 10^{22}\text{м}^{-3}$ и галлий с концентрацией $2 \cdot 10^{22}\text{м}^{-3}$. Чему равна концентрация заряженных частиц?

Вариант №3

1. Теплоемкость твердых тел, закон Дюлонга-Пти. Теория теплоемкости Эйнштейна.
2. Поверхность кремния легируется фосфором до $3 \cdot 10^{16}$ атомов/см³ и после этого равномерно легируется бором до 10^{18} атомов/см³. Полученная структура проходит термический отжиг, который полностью активизирует все примеси. Определить тип проводимости.

Вариант №4

1. Закон Дюлонга-Пти. Теория теплоемкости Эйнштейна. Тепловое расширение твердых тел. Диффузия в твердых телах.
2. Чему равна подвижность электронов в образце, если его удельное сопротивление $0,2\text{ Ом} \cdot \text{м}$, а концентрация свободных электронов $5,3 \cdot 10^{15}\text{м}^{-3}$?

Вариант №5

1. Заполнение зон электронами (металлы, диэлектрики, полупроводники). Эффективная масса электрона.

2. Чему равна подвижность электронов в кремнии, если концентрация неосновных носителей зарядов равна $1,5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$, концентрация собственных электронов равна $5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$, а удельное сопротивление равно $20 \text{ Ом} \cdot \text{м}$?

Вариант №6

1. Квантовая статистика Ферми-Дирака. Концентрация носителей заряда для не вырожденного и вырожденного электронного газа.
2. Каково удельное сопротивление электронного кремния *Si* с легирующей примесью $N_d = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ при комнатной температуре ($T = 300\text{K}$) ($\mu_n = 1500 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ для *Si*)?

Вариант №7

1. Упругие деформации в твердом теле. Колебания атомов трехмерной решетки. Квантовый характер колебаний решетки, концепция фононов.
2. Каково удельное сопротивление дырочного кремния *Si* с легирующей примесью $N_A = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ при комнатной температуре ($T = 300\text{K}$) ($\mu_p = 600 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ для *Si*)?

Вариант №8

1. Взаимодействие излучения с твердым телом, оптические константы. Поглощение света кристаллами.
2. Вещество кристаллизуется в решетке гранецентрированного куба (число атомов приходящихся на одну элементарную ячейку равно 4) с периодом идентичности a . Чему равна концентрация свободных электронов, полагая, что на каждый атом кристаллической решетки приходится три электрона?

Вариант №9

1. Функции Блоха. Волновой вектор, его свойства в кристалле, зоны Бриллюэна. Поверхность Ферми. Энергетический спектр электронов в кристалле, модель Кронига-Пенни, энергетические зоны.
2. Определить температуру Дебая для серебра, если при $T = 10\text{К}$ его теплоемкость составляет 199 Дж/град .

Вариант №10

1. Упругие деформации в твердом теле. Уравнение колебания однородной струны. Колебания одноатомной линейной цепочки.
2. Алюминий кристаллизуется в решетке гранецентрированного куба с периодом идентичности $a = 0,4041 \text{ нм}$. Чему равна концентрация свободных электронов, полагая, что на каждый атом кристаллической решетки приходится три электрона?

Итоговый контроль (вопросы к экзамену)

1. Задачи физики твердого тела. Монокристаллы и поликристаллы. Кристаллическая решетка, кристаллические структуры, элементарная ячейка.
2. Вектор трансляции. Базис и кристаллическая структура. Примитивные ячейки. Решетки Браве.
3. Двумерные кристаллические решетки. Трехмерные кристаллические решетки.
4. Симметрия кристаллов. Индексы Миллера.
5. Координационное число Z . Основные плотнейшие упаковки частиц в структурах.
6. Рентгеновская дифракция. Дифракция электронов. Дифракция нейтронов.
7. Брэгговское отражение. Закон Вульфа-Брэгга. Уравнения дифракции Лауэ.
8. Обратная решетка. Построение Эвальда.
9. Экспериментальные дифракционные методы определения структуры кристаллов. Метод Лауэ, метод порошка, метод вращения кристалла.
10. Типы связей в твердых телах. Электроотрицательность атомов. Первый потенциал ионизации. Энергия сродства атома к электрону.
11. Энергия связи кристалла. Полная потенциальная энергия взаимодействия двух атомов.
12. Типы межатомных связей в твердых телах. Ван-дер-ваальсовская связь. Ионная связь. Ковалентная связь. Металлическая связь.
13. Классификация дефектов по размерному признаку. Тепловые точечные дефекты.
14. Равновесные и неравновесные дефекты. Равновесная концентрация точечных дефектов.
15. Дислокации: краевые и винтовые. Вектор Бюргерса и контур Бюргерса.
16. Механические напряжение. Деформация, виды деформации. Закон Гука для изотропных твердых тел. Диаграмма деформации.
17. Молярная теплоемкость. Теплоемкость при постоянном объеме. Закон Дюлонга и Пти.
18. Теория теплоемкости Эйнштейна. Характеристическая температура Эйнштейна.
19. Модель Дебая для теплоемкости. Закон Дебая для теплоемкости.
20. Уравнение Шредингера для твердого тела. Гамильтониан системы частиц.
21. Одноэлектронная задача. Метод Хартри – Фока. Волновые функции.

Волновой вектор \vec{k} , физический смысл волнового вектора. Функции Блоха.

22. Свойства волнового вектора электрона в кристалле. Зоны Бриллюэна.

23. Собственная проводимость в полупроводниках. Концентрация носителей заряда: равновесная концентрация электронов в зоне проводимости, равновесная концентрация дырок в валентной зоне.

24. Уровень Ферми. Вырожденные и невырожденные собственные полупроводники.

25. Примесные полупроводники. Уровень Ферми в примесном полупроводнике. Концентрация носителей в примесном полупроводнике.

26. Взаимодействие света с твердым телом: пропускание, отражение, рассеяние света. Оптические константы.

27. Рекомбинационное излучение в полупроводниках. Межзонное рекомбинационное излучение. Рекомбинация через локализованные центры.

28. Спонтанное и индуцированное излучение. Твердотельные лазеры.

Перечень вопросов для проверки остаточных знаний

1. От чего зависит различие и многообразие кристаллических структур?
2. Как обозначаются плоскость в решетке, узел в решетке и направление в кристалле?
3. Что такое плотность упаковки и координационное число Z ?
4. Какие существуют экспериментальные методы определения структуры кристаллов?
5. При каких длинах волн имеет место брегговское отражение?
6. Что определяет уравнение Лауэ. Чему должна быть равна разность хода лучей, чтобы они интерферировали с усилением?
7. Какие бывают дефекты по размерному признаку?
8. Чем отличаются дефекты по Френкелю от дефектов по Шоттки?
9. Как меняется концентрация пар Френкеля n при $T = 0\text{K}$, с увеличением температуры?
10. Какими силами удерживаются частицы (атомы, молекулы) в молекулярных кристаллах?
11. Что такое волновой вектор? Какие значения может принимать волновой вектор \vec{k} свободного электрона? Как связана энергия свободного электрона с волновым векторами \vec{k} ?
12. В чем различие между электронами проводимости и свободными?
13. Какие значения может принимать волновой вектор \vec{k} блоховского электрона?

14. Что такое теплоемкость? От чего зависит молярная теплоемкость кристалла при низких температурах?
15. От чего зависит характеристическая температура Эйнштейна?
16. При каких температурах необходимо квантовое рассмотрение теории теплоемкости?
17. Как зависит коэффициент квазиупругой силы межатомного взаимодействия от характеристической температуры Дебая?
18. Что гласит принцип запрета Паули?
19. В чем заключается ограниченность модели Эйнштейна при рассмотрении теплоемкости твердого тела?
20. Что такое разрешенные и запрещенные энергетические зоны, ширина запрещенной зоны?
21. Каков физический смысл уровня Ферми?
22. Чему равно произведение концентрации электронов и дырок в невырожденном полупроводнике при термодинамическом равновесии?
23. Что такое подвижность носителей заряда? Почему подвижность электронов больше подвижности дырок?
24. Объясните механизмы электропроводности собственных и примесных полупроводников.
25. Какими формулами определяются концентрации свободных электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне?
26. Как определяются эффективная плотность состояний в зоне проводимости и в валентной зоне?
27. Как меняется положение уровня Ферми в примесном полупроводнике от температуры?
28. Какими физическими факторами объясняется температурная зависимость подвижности носителей заряда?
29. Какие процессы называются диффузией и дрейфом носителей заряда?
30. Что такое диффузионная длина и длина свободного пробега носителей заряда?
31. Как изменяется ширина запрещенной зоны полупроводника при изменении температуры?
32. Каковы механизмы поглощения? Чем отличается решеточное поглощение от поглощения свободными носителями заряда?
33. Когда происходит генерация только фононов?
34. Оптические константы. 35. Как происходит рекомбинационное излучение в полупроводниках?

7.2. 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 и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

а) основная литература:

1. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов: Учебник для вузов. 3-ое изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2002, -424 с.
2. Гуртов, В. А. Твердотельная электроника: Учеб. пособие/ В. А. Гуртов. – Москва, 2005. – 492 с.
3. Шретер Ю.Г., Ребане Ю.Т., Зыков В.А., Сидоров В.Г. Широкозонные полупроводники. – СПб.: Наука, 2001. -125 с.
4. Барыбин А.А., Сидоров В.Г. Физико-технологические основы электроники. – СПб.: Издательство «Лань», 2001. -272 с.
5. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий. Физико-химические основы технологии микроэлектроники: учебное пособие для вузов / Ю.Д. Чистяков, Ю.П. Райнова. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, Т.1. – 2010. – 392 с.
6. Физико-химические свойства полупроводниковых веществ. Справочник. Коллектив авторов. – М.: «Наука», 1978. – 339 с.

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

1. Теоретические сведения по физике и подробные решения демонстрационных вариантов тестовых заданий, представленных на сайте Росаккредагентства (www.fero.ru).
2. www.iqlib.ru - Интернет-библиотека образовательных изданий, в который собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия
3. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
4. Ресурсы Российской электронной библиотеки www.elibrary.ru.
5. Российские журналы по физике твердого тела: «Физика твердого тела», «Физика полупроводников», «Кристаллография», «Физика поверхности», «Журнал технической физики», «Успехи физики» и др.

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

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

1. Компьютерные и мультимедийное оборудование в ходе изложения лекционного материала (лекции в виде презентаций).
2. Конспекты лекций, справочная литература.
3. Тематические видеоролики из Интернета по технологии полупроводниковых материалов.

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

1. При изложении теоретического материала используется лекционный зал, оснащенный мультимедиа проекционным оборудованием.
2. «Научно-исследовательская лаборатория физики тонких пленок». Возможность ознакомления магистров с ростовыми установками по получению тонких пленок, слоев и кристаллов (метод термовакуумного напыления, метод магнетронного распыления, метод химических транспортных реакций).
3. Электронограф ЭГ-75. Демонстрация дифракции электронов. Оценка (качественная) структурного совершенства тонких пленок в виде аморфного состояния вещества, поликристалла, монокристалла, текстуры.