

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ

Директор по образовательной  
деятельности

С.Т. Князев

2020 г.



### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1143608	Электро- и массоперенос в твердых телах

Екатеринбург, 2020

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> 1. Химия и физика новых функциональных материалов	<b>Код ОП</b> 1. 04.04.02/33.01
<b>Направление подготовки</b> 1. Химия, физика и механика материалов	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 04.04.02

Программа модуля составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Киселев Евгений Александрович	к.х.н.	доцент	Кафедра физической и неорганической химии

**Согласовано:**

Управление образовательных программ



Р.Х. Токарева

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Электро- и массоперенос в твердых телах

## 1.1. Аннотация содержания модуля

Модуль включает дисциплины «Диффузионные процессы в твердых телах и на межфазовых границах», «Электротранспортные явления в твердых телах». Целью модуля является формирование у студентов глубокого понимания разделов различных областей химического знания: электрохимии, кристаллохимии, химии твердого тела и неорганической химии – применительно к описанию транспортных процессов в твердофазных, преимущественно оксидных, объектах. Ключевое внимание уделяется изучению явлений переноса заряда и массы в химическом, электрическом и температурных полях, основным представлениям о диффузии и реакционной диффузии в кристаллах.

## 1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Диффузионные процессы в твердых телах и на межфазовых границах	3
2	Электротранспортные явления в твердых телах	3
ИТОГО по модулю:		6

## 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	Не предусмотрены
Постреквизиты и корреквизиты модуля	Не предусмотрены

## 1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
Диффузионные процессы в твердых телах и на межфазовых границах	ОПК-2 - Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять сложные	З-1 - Демонстрировать понимание принципов, особенностей и задач проведения фундаментальных и прикладных исследований, планирования модельных или реальных экспериментов У-1 - Соотнести цель и задачи исследования с набором методов исследования, выбирать

	реальные или модельные эксперименты	необходимое сочетание цели и средств при планировании исследований П-1 - Иметь опыт проведения фундаментальных и прикладных исследований, модельных или реальных экспериментов с использованием современной методологии, методов, оборудования и техники Д-1 - Демонстрировать аналитические умения и креативное мышление
	ОПК-3 - Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты исследований в профессиональной области	З-1 - Демонстрировать понимание принципов и методов анализа и обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований, применяемых в профессиональной области У-1 - Анализировать результаты наблюдений и экспериментов, корректно интерпретировать их для формулирования заключений и выводов П-1 - Формулировать обоснованные заключения и выводы по результатам анализа научной литературы, собственных экспериментальных данных и расчетно-теоретических работ Д-1 - Демонстрировать умения анализировать и обобщать информацию, делать логические умозаключения
	ПК-1 - Способен проводить синтез и комплексные исследования свойств функциональных и конструкционных материалов, модифицировать имеющиеся экспериментальные методики, выбирая оптимальный способ решения поставленной задачи	З-1 - Сформулировать теоретические принципы и описать техническое исполнение и возможности модифицирования методов синтеза и исследования свойств функциональных и конструкционных материалов З-2 - Демонстрировать понимание принципов планирования научно-исследовательской работы У-1 - Выбирать экспериментальные и расчетно-теоретические методы синтеза и исследования свойств функциональных и конструкционных материалов, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов У-2 - Составлять общий план научно-исследовательской работы и детальные планы ее отдельных стадий П-1 - Иметь опыт выбора экспериментальных и расчетно-теоретических методов синтеза и исследования свойств функциональных и

		<p>конструкционных материалов, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов</p> <p>П-2 - Иметь опыт планирования НИР в целом и отдельных стадий НИР</p>
	<p>ПК-2 - Способен проводить патентно-информационные исследования в выбранной области химии, физики и/или смежных наук</p>	<p>З-1 - Представлять возможности существующих поисковых систем и электронных библиотек, используемые для поиска химической, в том числе патентной информации</p> <p>У-1 - Анализировать и обобщать результаты информационного/патентного поиска по тематике проекта в выбранной области химии физики и/или смежных наук</p> <p>П-1 - Иметь опыт работы с поисковыми системами, электронными библиотеками, базами данных по химии, физике и смежным областям</p>
	<p>ПК-3 - Способен на основе критического анализа результатов НИР и НИОКР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в выбранной области химии и физики</p>	<p>З-1 - Представлять актуальные направления теоретических и экспериментальных исследований и областей практического применения результатов в выбранной области химии и физики</p> <p>З-2 - Демонстрировать понимание принципов анализа и систематизации результатов НИР и НИОКР</p> <p>У-1 - Определять возможные направления развития теоретических и экспериментальных работ и перспективы практического применения полученных результатов</p> <p>У-2 - Систематизировать информацию, полученную в ходе НИР и НИОКР, анализировать ее и сопоставлять с литературными данными</p> <p>П-1 - Иметь опыт прогнозирования направления собственных исследований с учетом практического применения результатов</p> <p>П-2 - Иметь опыт анализа полученных экспериментальных и/или теоретических результатов собственного исследования в сравнении с литературными данными</p>
	<p>ПК-4 - Способен определять способы, методы и средства решения технологических задач в рамках прикладных НИР</p>	<p>З-1 - Сформулировать теоретические принципы и описать техническое исполнение методов исследования, необходимых для решения технологических задач</p> <p>З-2 - Демонстрировать понимание принципов организации и планирования</p>

	и НИОКР	<p>материально-технического сопровождения НИР и НИОКР</p> <p>У-1 - Предлагать технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач в рамках прикладных НИР и НИОКР</p> <p>У-2 - Планировать отдельные стадии и работу в целом, организовать материально-техническое сопровождение прикладных НИР и НИОКР</p> <p>П-1 - Иметь опыт выбора методов решения технологических задач в рамках прикладных НИР и НИОКР</p> <p>П-2 - Иметь опыт планирования отдельных стадий НИР и НИОКР и работы в целом, материально-технического сопровождения прикладных НИР и НИОКР</p>
	ПК-5 - Способен осуществлять документальное сопровождение прикладных НИР и НИОКР	<p>З-1 - Привести примеры нормативных документов по системам стандартизации, разработки и производства химической продукции, проведения прикладных НИР и НИОКР</p> <p>У-1 - Готовить документацию по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР, анализировать имеющиеся нормативные документы по системам стандартизации, разработки и производства химической продукции</p> <p>П-1 - Иметь навыки работы с нормативной документацией по разработке и стандартизации химической продукции, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР</p>
	ОПК-1 - Способен выявлять, формулировать и решать фундаментальные и прикладные задачи в области своей профессиональной деятельности и в междисциплинарных направлениях с использованием фундаментальных знаний и практических навыков	<p>З-1 - Демонстрировать понимание фундаментальных принципов, методов и подходов к решению фундаментальных и прикладных задач в профильной области деятельности и междисциплинарных направлениях</p> <p>У-1 - Выявлять и определять цели и пути решения фундаментальных и прикладных задач в профильной области деятельности, опираясь на фундаментальные законы и принципы, с использованием соответствующих целей подходов и методов</p> <p>П-1 - Предлагать пути решения фундаментальных и прикладных задач в профильной области деятельности и</p>

		<p>междисциплинарных направлениях, опираясь на фундаментальные законы и принципы с использованием соответствующих целям подходов и методов</p> <p>Д-1 - Демонстрировать аналитические умения и креативное мышление</p>
Электротранспортные явления в твердых телах	<p>ОПК-2 - Способен выполнять исследования при решении фундаментальных и прикладных задач, планировать и осуществлять сложные реальные или модельные эксперименты</p>	<p>З-1 - Демонстрировать понимание принципов, особенностей и задач проведения фундаментальных и прикладных исследований, планирования модельных или реальных экспериментов</p> <p>У-1 - Соотнести цель и задачи исследования с набором методов исследования, выбирать необходимое сочетание цели и средств при планировании исследований</p> <p>П-1 - Иметь опыт проведения фундаментальных и прикладных исследований, модельных или реальных экспериментов с использованием современной методологии, методов, оборудования и техники</p> <p>Д-1 - Демонстрировать аналитические умения и креативное мышление</p>
	<p>ОПК-3 - Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты исследований в профессиональной области</p>	<p>З-1 - Демонстрировать понимание принципов и методов анализа и обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований, применяемых в профессиональной области</p> <p>У-1 - Анализировать результаты наблюдений и экспериментов, корректно интерпретировать их для формулирования заключений и выводов</p> <p>П-1 - Формулировать обоснованные заключения и выводы по результатам анализа научной литературы, собственных экспериментальных данных и расчетно-теоретических работ</p> <p>Д-1 - Демонстрировать умения анализировать и обобщать информацию, делать логические умозаключения</p>
	<p>ПК-1 - Способен проводить синтез и комплексные исследования свойств функциональных и конструкционных материалов,</p>	<p>З-1 - Сформулировать теоретические принципы и описать техническое исполнение и возможности модифицирования методов синтеза и исследования свойств функциональных и конструкционных материалов</p> <p>З-2 - Демонстрировать понимание</p>

	<p>модифицировать имеющиеся экспериментальные методики, выбирая оптимальный способ решения поставленной задачи</p>	<p>принципов планирования научно-исследовательской работы</p> <p>У-1 - Выбирать экспериментальные и расчетно-теоретические методы синтеза и исследования свойств функциональных и конструкционных материалов, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов</p> <p>У-2 - Составлять общий план научно-исследовательской работы и деталильные планы ее отдельных стадий</p> <p>П-1 - Иметь опыт выбора экспериментальных и расчетно-теоретических методов синтеза и исследования свойств функциональных и конструкционных материалов, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов</p> <p>П-2 - Иметь опыт планирования НИР в целом и отдельных стадий НИР</p>
	<p>ПК-2 - Способен проводить патентно-информационные исследования в выбранной области химии, физики и/или смежных наук</p>	<p>3-1 - Представлять возможности существующих поисковых систем и электронных библиотек, используемые для поиска химической, в том числе патентной информации</p> <p>У-1 - Анализировать и обобщать результаты информационного/патентного поиска по тематике проекта в выбранной области химии физики и/или смежных наук</p> <p>П-1 - Иметь опыт работы с поисковыми системами, электронными библиотеками, базами данных по химии, физике и смежным областям</p>
	<p>ПК-3 - Способен на основе критического анализа результатов НИР и НИОКР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в выбранной области химии и физики</p>	<p>3-1 - Представлять актуальные направления теоретических и экспериментальных исследований и областей практического применения результатов в выбранной области химии и физики</p> <p>3-2 - Демонстрировать понимание принципов анализа и систематизации результатов НИР и НИОКР</p> <p>У-1 - Определять возможные направления развития теоретических и экспериментальных работ и перспективы практического применения полученных результатов</p> <p>У-2 - Систематизировать информацию, полученную в ходе НИР и НИОКР, анализировать ее и сопоставлять с</p>



		<p>литературными данными</p> <p>П-1 - Иметь опыт прогнозирования направления собственных исследований с учетом практического применения результатов</p> <p>П-2 - Иметь опыт анализа полученных экспериментальных и/или теоретических результатов собственного исследования в сравнении с литературными данными</p>
	<p>ПК-4 - Способен определять способы, методы и средства решения технологических задач в рамках прикладных НИР и НИОКР</p>	<p>З-1 - Сформулировать теоретические принципы и описать техническое исполнение методов исследования, необходимых для решения технологических задач</p> <p>З-2 - Демонстрировать понимание принципов организации и планирования материально-технического сопровождения НИР и НИОКР</p> <p>У-1 - Предлагать технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач в рамках прикладных НИР и НИОКР</p> <p>У-2 - Планировать отдельные стадии и работу в целом, организовать материально-техническое сопровождение прикладных НИР и НИОКР</p> <p>П-1 - Иметь опыт выбора методов решения технологических задач в рамках прикладных НИР и НИОКР</p> <p>П-2 - Иметь опыт планирования отдельных стадий НИР и НИОКР и работы в целом, материально-технического сопровождения прикладных НИР и НИОКР</p>
	<p>ПК-5 - Способен осуществлять документальное сопровождение прикладных НИР и НИОКР</p>	<p>З-1 - Привести примеры нормативных документов по системам стандартизации, разработки и производства химической продукции, проведения прикладных НИР и НИОКР</p> <p>У-1 - Готовить документацию по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР, анализировать имеющиеся нормативные документы по системам стандартизации, разработки и производства химической продукции</p> <p>П-1 - Иметь навыки работы с нормативной документацией по разработке и стандартизации химической продукции, проведению и результатам прикладных НИР и НИОКР</p>

--	--	--

### **1.5. Форма обучения**

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в форме:

Очная

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Диффузионные процессы в твердых телах и на межфазовых границах**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Калинина Елена Григорьевна	к.х.н.	Доцент- исследовате ль	Кафедра физической и неорганической химии

**Рекомендовано учебно-методическим советом института** естественных наук и математики

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

Авторы:

- Калинина Елена Григорьевна, доцент-исследователь, физической и неорганической химии

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология;

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
Р.1	Диффузия	<p>Диффузия. Основные понятия. Классификации Движущие силы. Феноменологическое описание. Законы Фика. Самодиффузия. Гетеродиффузия. Атомная теория самодиффузии. Механизмы. Методы определения коэффициентов самодиффузии.</p> <p>Диффузия атомов и дефектов. Микро- и макроскопический коэффициент диффузии. Метод случайных блужданий.</p> <p>Эффекты корреляции. Зависимость коэффициента диффузии от температуры и химического потенциала неметалла в газовой фазе</p> <p>Необъемные механизмы и пути диффузии. Поверхность, границы зерен, межзеренные прослойки, фазовые включения. Модели Фишера и Уиппла. Химическая диффузия. Химический коэффициент диффузии, его физический смысл. Методы определения коэффициентов химической диффузии.</p>
Р.2	Реакционная диффузия. Классификация реакций твердых тел и методы их исследования.	<p>Роль твердофазных реакций в современных технологиях. Основные положения химической кинетики. Активационные процессы. Основные положения теории переходного состояния. Классификация реакций твердых тел. Экспериментальные методы исследования. Гравиметрический метод. Анализ выделяющегося газа: масс-спектрометрия, хроматография. Изо- и неизотермические методы. Микроскопические методы: оптическая и электронная микроскопия. Рентгеновские методы. Спектроскопические методы: инфракрасная, комбинационное рассеяние, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Магнитные измерения. Измерение электропроводности и диэлектрических свойств. Химико-аналитические методы.</p>
Р.3	Кинетика твердофазных превращений	<p>Стадийность твердофазных превращений. Последовательное и параллельное протекание стадий. Индукционный период. Учение о лимитирующей стадии. Законы</p>

		<p>зародышеобразования. Модели образования и роста зародышей. Первичная и вторичная кинетические области. Стадия массопереноса. Перенос через газовую фазу. Диффузионный перенос. Объемная, поверхностная и зернограничная диффузия. Диффузия по гетерофазным включениям. Стартовые элементарные стадии. Твердофазное распространение и покрывание. Роль соотношения поверхностных энергий. Адгезия. Поверхностная активность компонентов и примесей</p> <p>Распределение частиц по размерам. Компактность реакционной смеси. Активные и неактивные реагенты. Методы оценки активности. Кинетические уравнения. Изо- и неизотермические условия осуществления. Геометрические модели реакций: Яндера, Вагнера, Коматсу. Прямые и обратные модели. Модельные кинетические уравнения: Ерофеева-Авраами, сжимающейся сферы, Яндера, Гистлинга-Броунштейна и другие. Обработка экспериментальных данных (методы линеаризации, метод приведенных координат).</p> <p>Модельные одномерные уравнения. Законы роста пленок, их физический смысл (линейный, параболический, логарифмический и др.). Реакции синтеза и двойного обмена. Экспериментальные методы моделирования: инертной метки, моделирование реакционных зон, свободной поверхности. Методы исследования диффузионных зон. Обработка экспериментальных данных (методы линеаризации, метод приведенных координат).</p>
<p><b>P.4</b></p>	<p>Модельные представления о механизме твердофазных реакций</p>	<p>Окисление металлов. Термодинамическая теория Вагнера. Электрохимический перенос. Вывод основного уравнения. Сопряженная химическая диффузия заряженных частиц. Кинетический закон роста пленки. Коэффициент СХД. Ионная проводимость окалины. Электронная проводимость окалины р- и n-типа. Влияние электрического поля на окалинообразование.</p> <p>Термодинамическая теория Вагнера-Шмальцрида. Исходные посыпки теории: диффузионный контроль процесса, перенос вещества по системе невзаимодействующих точечных дефектов, локальное термодинамическое равновесие на границах фаз, независимость движения ионов в реакционном слое. Вывод основного уравнения. Параболический закон роста продукта. Рациональные константы скорости для различных соотношений коэффициентов диффузии ионов. Расчет рациональных констант и сравнение с экспериментальными данными для различных сложных ионных соединений. Возможные причины расхождения экспериментальных и расчетных констант.</p> <p>Твердофазное растекание оксидов с высокой долей ковалентности связи по поверхности и границам зерен продукта как основной механизм массопереноса при синтезе сложных оксидов с гетеродесмической структурой. Уменьшение поверхностной энергии как термодинамическая причина твердофазного растекания.</p>

		Влияние электрического поля на синтез сложных оксидов. Нефарадеевское поведение реакций синтеза веществ с гетеродесмической структурой. Реакционная разность потенциалов и трактовка ее механизма. Электроосмотическое увлечение диффузанта и электрокапиллярность как возможные причины аномально сильного влияния электрического поля на скорость реакций с участием ковалентно-ионных оксидов и нефарадеевского поведения процессов такого типа.
--	--	---

1.3. Программа дисциплины реализуется:  
на государственном языке Российской Федерации (русский).

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Электронные ресурсы (издания)

Не используются

### Печатные издания

1. Чеботин, Василий Николаевич. Физическая химия твердого тела / В. Н. Чеботин ; Ред. В. И. Козлова ; Худож. А. Я. Михайлов .— М. : Химия, 1982 .— 320 с. 23 экз
2. Чеботин, Василий Николаевич. Электрохимия твердых электролитов / В. Н. Чеботин, М. В. Перфильев ; под ред. В. Н. Чеботина .— М. : Химия, 1978 .— 312 с. 5 экз
3. Вест, Антони Р. Химия твердого тела. Теория и приложения : В 2 ч. : Пер. с англ. Ч. 2 / А. Р. Вест; Под ред. Ю. Д. Третьякова .— М. : Мир, 1988 .— 334 с. 10 экз
4. Бокштейн, Б. С. Диффузия атомов и ионов в твердых телах : [монография] / Б. С. Бокштейн, А. Б. Ярославцев .— Москва : МИСИС, 2005 .— 362 с. :101 экз

### Профессиональные базы данных, информационно-справочные

American Chemical Society  
eLibrary ООО Научная электронная библиотека  
American Institute of Physics  
Платформа Nature  
Springer Nature  
ScienceDirect Freedom Collection Elsevier  
Scopus  
Elsevier  
Springer Materials  
Springer Nature  
SpringerLink  
Springer Nature  
Web of Science Core Collection  
Web of Science

### Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

## Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

<http://lib.urfu.ru> – зональная научная библиотека УрФУ.

*American Chemical Society*

*eLibrary ООО Научная электронная библиотека*

*American Institute of Physics*

*Платформа Nature*

*Springer Nature*

*ScienceDirect Freedom Collection Elsevier*

*Scopus*

*Elsevier*

*Springer Materials*

*Springer Nature*

*SpringerLink*

*Springer Nature*

*Web of Science Core Collection*

*Web of Science*

### 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не предусмотрено
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не предусмотрено
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не предусмотрено

		Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами	
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя  Доска аудиторная  Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами	<b>Не предусмотрено</b>



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Электротранспортные явления в твердых телах**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Киселев Евгений Александрович	к.х.н.	Доцент	Кафедра физической и неорганической химии

**Рекомендовано учебно-методическим советом института** естественных наук и математики

## 2. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

Авторы:

- Киселев Евгений Александрович, доцент, физической и неорганической химии

### 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология;

### 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
Р.1	Элементы неравновесной термодинамики	Принципы линейности и взаимности потоков. Закон сохранения энергии и массы для неравновесных систем. Уравнения переноса тепла, электричества и массы. Скорость возникновения энтропии в неравновесных системах
Р.2	Явления переноса массы и заряда	<p>Законы диффузии Фика. Механизмы диффузии в кристаллической решетке. Сопряженная диффузия ионов (дефектов) и электронов. Связь дрейфовой подвижности иона с коэффициентом самодиффузии. Диффузия в собственной и примесной области. Влияние концентрации примесей на коэффициенты диффузии</p> <p>Основные понятия. Числа переноса. Связь проводимости с концентрацией и подвижностью носителей. Соотношение Нернста-Эйнштейна. Абсолютная и дрейфовая подвижности. Микро- и макроскопические подвижности. Ионная проводимость. Зависимость от температуры и содержания примесей.</p> <p>Квазисвободные и связанные состояния. Поляронная модель. Прыжковая проводимость. Зависимость от температуры и содержания примесей. Зависимость проводимости от активности неметалла в газовой фазе. Числа переноса носителей. Связь диаграмм Броуэра с зависимостью электропроводности от концентрации (активности) компонента, находящегося в равновесии с твердым телом</p>
Р.3	Применение электрохимических методов для изучения явлений переноса	<p>Бестоковые методы. Условия равновесия в электрохимических цепях. Обратимость электродов. Электродвижущая сила (ЭДС). Понятие о смешанном электродном потенциале. Определение чисел переноса методом «ЭДС». Метод Тубанта для определения чисел переноса. Метод блокирующего электрода Хэбба-Вагнера и его ограничения.</p> <p>Токовые методы. Возможности получения информации при применении постоянного и переменного тока. Оформление измерительной ячейки. Четырехэлектродный метод для определения электропроводности (его модификация ван дер</p>

		Пау). Метод электрохимического импеданса и его применение для изучения процессов переноса. Эквивалентные электрические цепи. Понятие иммитанса, преобразование комплексных диаграмм импеданса, адмиттанса, емкости и диэлектрической проницаемости друг в друга. Модели поликристалла и определение на их основе внутри- и межкристаллической электропроводности.
<b>Р.4</b>	Ионные проводники	Ионные проводники со структурой флюорита. Ионные проводники со структурой перовскита, браунмиллерита, пирохлора. Материалы семейств LAMOX, BIMEVOX.  Высокотемпературные протонные проводники со структурой перовскита. Механизмы миграции протонов в высокотемпературных протонных проводниках. Транспортные характеристики высокотемпературных протонных проводников с примесным разупорядочением. Перовскитоподобные протонные проводники со структурным разупорядочением кислородной подрешетки. Структурные особенности. Транспортные свойства. Процессы гидратации. Низкотемпературные протонные электролиты. Суперпротонные электролиты. Композитные электролиты и композитный эффект. Сенсоры. Электрохимический конвертер. Электролизеры. Твердооксидные топливные элементы.  Катионные проводники. Li-ионные проводники. Na-ионные проводники. Материалы с проводимостью по мультивалентным катионам. ХИТ.

2.3. Программа дисциплины реализуется:  
на государственном языке Российской Федерации (русский).

## **2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Электронные ресурсы (издания)**

Не используются

### **Печатные издания**

1. Чеботин, Василий Николаевич. Физическая химия твердого тела / В. Н. Чеботин ; Ред. В. И. Козлова ; Худож. А. Я. Михайлов .— М. : Химия, 1982 .— 320 с. 23 экз
2. Чеботин, Василий Николаевич. Электрохимия твердых электролитов / В. Н. Чеботин, М. В. Перфильев ; под ред. В. Н. Чеботина .— М. : Химия, 1978 .— 312 с. 5 экз
3. Вест, Антони Р. Химия твердого тела. Теория и приложения : В 2 ч. : Пер. с англ. Ч. 2 / А. Р. Вест; Под ред. Ю. Д. Третьякова .— М. : Мир, 1988 .— 334 с. 10 экз
4. Бокштейн, Б. С. Диффузия атомов и ионов в твердых телах : [монография] / Б. С. Бокштейн, А. Б. Ярославцев .— Москва : МИСИС, 2005 .— 362 с. :101 экз
5. Фистуль, Виктор Ильич. Физика и химия твердого тела : Учебник для вузов: В 2 т. Т. 1 / В.И. Фистуль .— М. : Металлургия, 1995 .— 480 с. 10 экз

6. Фистуль, Виктор Ильич. Физика и химия твердого тела : Учебник для вузов: В 2 т. Т. 2 / В.И. Фистуль .— М. : Металлургия, 1995 .— 320 с. 10 экз

### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные**

American Chemical Society  
eLibrary ООО Научная электронная библиотека  
American Institute of Physics  
Платформа Nature  
Springer Nature  
ScienceDirect Freedom Collection Elsevier  
Scopus  
Elsevier  
Springer Materials  
Springer Nature  
SpringerLink  
Springer Nature  
Web of Science Core Collection  
Web of Science

### **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

<http://lib.urfu.ru> – зональная научная библиотека УрФУ.  
*American Chemical Society*  
*eLibrary ООО Научная электронная библиотека*  
*American Institute of Physics*  
*Платформа Nature*  
*Springer Nature*  
*ScienceDirect Freedom Collection Elsevier*  
*Scopus*  
*Elsevier*  
*Springer Materials*  
*Springer Nature*  
*SpringerLink*  
*Springer Nature*  
*Web of Science Core Collection*  
*Web of Science*

### 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не предусмотрено
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не предусмотрено
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами	Не предусмотрено
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами	Не предусмотрено