

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики  
А.С. Батурин**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Современные функциональные и конструкционные материалы
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра электрохимической энергетики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

- лекции: 60 час.
- семинары: 0 час.
- лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составили:

С.М. Морозова, канд. хим. наук  
В.А. Визгалов, канд. хим. наук  
Д.М. Иткис, канд. хим. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры электрохимической энергетики 19.12.2024

## Аннотация

Дисциплина «Современные функциональные и конструкционные материалы» направлена на развитие профильных компетенций и представлений об основных физико-химических свойствах функциональных и конструкционных материалов вследствие углубления и систематизации знаний о классификации, технологиях получения, обработки и особенностях эксплуатационных характеристик функциональных и конструкционных материалов с целью планирования, разработки, анализа и применения данных материалов в областях традиционной и альтернативной энергетики.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Формирование у обучающихся специализированных представлений о видах, химической природе, основных физико-химических свойствах, тенденциях развития и применения функциональных и конструкционных материалов в области электрохимической энергетики.

#### Задачи дисциплины

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- углубление базовых знаний и представлений о химической природе, физико-химических свойствах, эксплуатационных характеристиках функциональных и конструкционных материалов, применяемых для создания электрохимических накопителей энергии;
- обобщение и систематизация знаний о процессах и способах получения материалов, используемых в химических источниках тока;
- формирование специализированных знаний о полимерах, полимерных растворах и электролитах для металл-ионных батарей.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- основные виды функциональных и конструкционных материалов, используемых для создания электрохимических накопителей энергии, их преимущества и недостатки, физико-химические свойства;
- основы технологии получения и обработки функциональных и конструкционных материалов;
- особенности эксплуатационных характеристик функциональных и конструкционных материалов в электрохимических накопителях энергии.

уметь:

- подбирать материал (класс, состав, химическая природа) для создания отдельных элементов электрохимических накопителей энергии;
- объяснять принципы работы различных функциональных материалов, используемых в электрохимических накопителях энергии, выбирать способы их характеристики;
- анализировать результаты испытаний физико-химических свойств материалов;
- анализировать научную литературу с целью выбора информации о работе, перспективах и характеристиках различных материалов для ХИТ;
- готовить материалы для электрохимических накопителей энергии, включая электродные материалы, мембраны различной природы, жидкие электролиты.

владеть:

- основными химическими и физическими теориями и концепциями, описывающими физико-химические свойства функциональных и конструкционных материалов, включая прочностные характеристики, электронную и ионную проводимость, условия применимости материалов;
- основными электрохимическими методами характеристики различных функциональных и конструкционных материалов, используемых в электрохимических накопителях энергии;
- навыками интерпретации и обсуждения результатов проведенного исследования, основываясь на современной литературе.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Общая классификация материалов.	2			1
2	Кристаллическая структура твердых тел.	2			1
3	Неорганические функциональные материалы.	2			1
4	Электронная проводимость.	2			1
5	Полупроводниковые материалы.	2			1
6	Материалы с ионной и смешанной проводимостью.	2			1
7	Магнитные материалы.	2			1
8	Сегнетоэлектрики и материалы для термоэлектрических применений.	2			1
9	Неорганические наночастицы.	2			1
10	Получение материалов в различных формах.	2			1
11	Изготовление электродных материалов для металл-ионных батарей.	2			1
12	Керамические твердые проводники для твердоотопливных элементов и металл-ионных батарей.	2			1

13	Технологические аспекты производства металл-ионных аккумуляторов	2			1
14	Лабораторные и промышленные методы синтеза электродных активных материалов и сепараторов.	2			1
15	Комплексы металлов. Катализаторы для топливных элементов.	2			1
16	Полимеры. Молекулярная масса. Методы синтеза.	2			2
17	Растворы полимеров.	2			2
18	Механика полимеров. Фазовые переходы.	2			2
19	Проводимость полимерных материалов.	2			2
20	Методы обработки полимерных материалов.	2			2
21	Получение пленок, мембран, покрытий.	2			2
22	Твердые полимерные электролиты для металл-ионных батарей.	2			2
23	Гелевые полимерные электролиты для металл-ионных батарей.	2			2
24	Твердые и гелевые полимерные электролиты для топливных элементов и других электрохимических устройств.	2			2
25	Стимул-чувствительные материалы. Сенсоры.	2			2
26	Конструкционные металлические материалы.	2			2
27	Конструкционные неметаллические материалы.	2			2
28	Композиционные полимерные материалы. Углепластики. Армированные полимеры. Применение.	2			2
29	Цифровое материаловедение.	2			2
30	Тенденции развития полимерных функциональных и конструкционных материалов.	2			2
Итого часов		60			45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Общая классификация материалов.

Неорганические, органические, полимерные и гибридные материалы. Основные физико-химические свойства материалов, включая механические свойства, термо- и химическую стойкость, проводимость, оптические свойства, токсичность. Примеры применений в современном мире с фокусом на электрохимические источники энергии, включая металл-ионные батареи и топливные элементы.

## 2. Кристаллическая структура твердых тел.

Кристаллическая решетка. Дефекты кристаллической решетки. Методы получения неорганических материалов.

## 3. Неорганические функциональные материалы.

Неорганические материалы. Оксиды, керамика, соли, металлы. Примеры наиболее часто используемых неорганических материалов в электрохимических накопителях энергии.

## 4. Электронная проводимость.

Понятие проводник, полупроводник, диэлектрик. Электронная и ионная проводимость. Классификация материалов по зонной структуре и проводимости. Зависимость проводимости от температуры. Элементарные, купратные, железосодержащие, интерметаллические и органические сверхпроводники.

## 5. Полупроводниковые материалы.

Причины, определяющие возникновение полупроводниковых свойств. Особенности методов синтеза полупроводников. Топологические изоляторы.

## 6. Материалы с ионной и смешанной проводимостью.

Ионная проводимость. Принцип импедансной спектроскопии для определения проводимости материалов. Измерение Электропроводности соединений со смешанной проводимостью. Определение удельного сопротивления.

## 7. Магнитные материалы.

Основные типы магнитных материалов, используемых в настоящее время. Температура Кюри. Петля гистерезиса. Магнитомягкие и магнитожесткие материалы. Зависимость коэрцитивной силы от размера частиц. Магнетосопротивление. Магнитокалорический эффект.

## 8. Сегнетоэлектрики и материалы для термоэлектрических применений.

Сегнетоэлектрики. Явление термоэлектричества. Эффект Зеебека и эффект Пельтье. Явление термоЭДС. Принцип действия термоэлектрических элементов. Термоэлектрические модули. Коммерческие термоэлектрические материалы.

## 9. Неорганические наночастицы.

Квантовые точки. Углеродные наночастицы: фуллерены, наноалмазы, углеродные нанотрубки. Коллоидная стабильность. Классификация наночастиц и материалов на их основе. Гибридные органо-неорганические материалы. Методы синтеза наночастиц «снизу вверх» и «сверху вниз».

## 10. Получение материалов в различных формах.

Методы роста кристаллов. Методы получения вещества в ультрадисперсном нанокристаллическом состоянии. Методы формирования гелей, толстых пленок. Способы получения керамических материалов. Методы осаждения тонких пленок.

### 11. Изготовление электродных материалов для металл-ионных батарей.

Неорганические материалы, применяемые в качестве отрицательных и положительных электродов МИА. Способы модификации материалов с низкой электронной и ионной проводимостью для изготовления электродов МИА. Виды связующих компонентов и их роль при изготовлении электродного материала.

### 12. Керамические твердые проводники для твердопливных элементов и металл-ионных батарей.

Физические свойства керамических материалов. Керамические твердые проводники для твердопливных элементов и металл-ионных батарей. NASICON и аналогичные материалы. Особенности работы с керамическими мембранами.

### 13. Технологические аспекты производства металл-ионных аккумуляторов

Основные операции при производстве металл-ионных аккумуляторов. Влияние условий проведения каждой из операций на конечные характеристики МИА.

### 14. Лабораторные и промышленные методы синтеза электродных активных материалов и сепараторов.

Сепараторы металл-ионных аккумуляторов, их основные характеристики и способы получения. Природный и искусственный графит. Способы изготовления и модификации графита. Методы синтеза смешанных оксидов и литий-железо фосфата.

### 15. Комплексы металлов. Катализаторы для топливных элементов.

Комплексы металлов. Понятие катализатора. Теория Баландина. Носители для катализаторов. Катализаторы для топливных элементов: платиновые и неплатиновые группы. Условия деградации катализаторов.

## Семестр: 2 (Весенний)

### 16. Полимеры. Молекулярная масса. Методы синтеза.

Полимеры. Молекулярная масса. Методы синтеза.

Полимеры. Строение полимеров, включая основную и боковую цепь. Классификация по природе (синтетические и биополимеры), по природе основной полимерной цепи (карбоцепные и гетероцепные), по макромолекулярной архитектуре (сшитые, линейные, гребнеобразные, привитые, дендримеры и др.). Молекулярная масса. Понятие среднечисловой и средневесовой молекулярной массы. Полидисперсность. Связь молекулярно-массовых характеристик со свойствами полимеров. Методы синтеза. Свободнорадикальная полимеризация с различными методами инициирования (термо-, УФ- и радиационное инициирование). Методы синтеза с контролем молекулярной массы: живая и псевдоживая радикальная полимеризация. Поликонденсация.

### 17. Растворы полимеров.

Растворы полимеров. Вязкость полимеров и их растворов. Понятие хороший, плохой и  $\theta$ -растворитель. Состояние полимера в растворе. Влияние параметров раствора полимера на изделия и пленки на основе полимеров.

### 18. Механика полимеров. Фазовые переходы.

Понятие сегмента Куна. Температура плавления, стеклования и кристаллизации. Кристалличность полимеров. Стеклообразное, вязкотекучее и высокоэластичное состояние полимеров. Кривые деформации полимеров для различных фазовых состояний. Релаксационные процессы в полимерах.

#### 19. Проводимость полимерных материалов.

Классификация полимерных материалов. Композиты на основе полимеров. Проводимость полимерных материалов. Полимеры с электронной проводимостью, включая полипиррол, полианилин, поли(3,4-этилендиокситиофен). Введение проводящих добавок (сажа, углеродные наночастицы и др) в полимеры для придания им проводящих свойств. Ионная проводимость в полимерах. Полиэлектролиты.

#### 20. Методы обработки полимерных материалов.

Методы обработки полимерных материалов. Формование, литье, экструзия, аддитивные технологии.

#### 21. Получение пленок, мембран, покрытий.

Спинкоатинг, электрораспыление и электроспиннинг, литографические методы.

#### 22. Твердые полимерные электролиты для металл-ионных батарей.

Методы получения. Полимерные электролиты на основе полиэтиленоксида.

#### 23. Гелевые полимерные электролиты для металл-ионных батарей.

Наполнение полимерных мембран солями. Ионные жидкости как компоненты полимерных мембран.

#### 24. Твердые и гелевые полимерные электролиты для топливных элементов и других электрохимических устройств.

Структура перфторированных сульфосодержащих полимеров Nafion и Aquvion. Полибензимидазолы и др. полимеры для топливных элементов.

#### 25. Стимул-чувствительные материалы. Сенсоры.

Стимул-чувствительные материалы на основе полимерных и гибридных материалов. Сенсоры: оптические, температурные, сенсоры давления. Сенсоры для определения теплового разгона в металл-ионных батареях.

#### 26. Конструкционные металлические материалы.

Металлические материалы. Металлы и сплавы. Методы переработки. Прочностные характеристики и применение.

#### 27. Конструкционные неметаллические материалы.

Неметаллические материалы. Графит, керамика, полимеры. Прочностные характеристики и применение.

#### 28. Композиционные полимерные материалы. Углепластики. Армированные полимеры. Применение.

Виды наполнителей для полимерных материалов. Пластификация и армирование. Углепластики. Армирование тканей.

29. Цифровое материаловедение.

Моделирование свойств, в том числе прочностных свойств.

30. Тенденции развития полимерных функциональных и конструкционных материалов.

Тенденции развития полимерных функциональных и конструкционных материалов, включая как электрохимические источники тока и топливные элементы, так и другие электрохимические устройства, в том числе «умные стекла», сенсоры и др.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиа проектором, меловой или маркерной доской.

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

### **Основная литература**

Литература выдается на базовой кафедре:

1. Дамаскин Б. Б., Петрий О. А., Цирлина Г. А.. Электрохимия. — 3-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 672 с.
2. Киреев, В. В. Высокомолекулярные соединения. Часть 1. ООО «Издательство Юрайт» 2017. — 361с - ISBN 978-5-9916-7150-7 (ч. 1)

### **Дополнительная литература**

Литература выдается на базовой кафедре:

1. Linden's Handbook of Batteries / edited by T.B.Reddy. - 4th Edition. - McGraw-Hill, 2010
2. Вест, А. Химия твердого тела. Теория и приложения. Часть 2. - М.: Мир, 1988
3. Семчиков, Ю. Д., Жильцов, С. Ф., Зайцев, С. Д. Введение в химию полимеров. - Академия, 2012. - 978-5-7695-7071-1
4. Солнцев, Ю. П., Ермаков, Б. С., Пирайнен, В. Ю. Технология конструкционных материалов, 2014

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Не используются.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Не предусмотрены.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- выполнение заданий практических семинаров и самостоятельную обработку полученных результатов;



– активной самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

– чтение рекомендованной литературы;

– проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;

– подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра электрохимической энергетики
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчики:**

С.М. Морозова, канд. хим. наук  
В.А. Визгалов, канд. хим. наук  
Д.М. Иткис, канд. хим. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Современные функциональные и конструкционные материалы» обучающийся должен:

### знать:

- основные виды функциональных и конструкционных материалов, используемых для создания электрохимических накопителей энергии, их преимущества и недостатки, физико-химические свойства;
- основы технологии получения и обработки функциональных и конструкционных материалов;
- особенности эксплуатационных характеристик функциональных и конструкционных материалов в электрохимических накопителях энергии.

### уметь:

- подбирать материал (класс, состав, химическая природа) для создания отдельных элементов электрохимических накопителей энергии;
- объяснять принципы работы различных функциональных материалов, используемых в электрохимических накопителях энергии, выбирать способы их характеристики;
- анализировать результаты испытаний физико-химических свойств материалов;
- анализировать научную литературу с целью выбора информации о работе, перспективах и характеристиках различных материалов для ХИТ;
- готовить материалы для электрохимических накопителей энергии, включая электродные материалы, мембраны различной природы, жидкие электролиты.

### владеть:

- основными химическими и физическими теориями и концепциями, описывающими физико-химические свойства функциональных и конструкционных материалов, включая прочностные характеристики, электронную и ионную проводимость, условия применимости материалов;
- основными электрохимическими методами характеристики различных функциональных и конструкционных материалов, используемых в электрохимических накопителях энергии;
- навыками интерпретации и обсуждения результатов проведенного исследования, основываясь на современной литературе.

### 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

В начале каждого занятия проводится краткий опрос по теме предыдущего занятия.

### 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к дифференцированному зачету:

1. Общая классификация материалов: чем материал отличается от вещества? как классифицируются твердотельные материалы по структуре, по химическому составу? Приведите примеры зависимости функциональных свойств материала от химического состава, структуры или морфологии.
2. Кристаллическая структура твердых тел: каким образом выбирается элементарная ячейка в кристаллическом соединении? Перечислите сингонии решеток Браве и в чем их отличие друг от друга, какие параметры элементарной ячейки им соответствуют? Какие типы дефектов наблюдаются в кристаллах? Какие характерные значения концентрации дефектов при комнатной температуре и как концентрация дефектов зависит от температуры?
3. Неорганические функциональные материалы. Перечислите примеры материалов наиболее часто используемых в электрохимических накопителях энергии. Опишите как дефекты кристаллической решетки могут улучшать или ухудшать функциональные характеристики материалов. Перечислите основные методы получения неорганических материалов.
4. Электронная проводимость. Приведите классификацию материалов по зонной структуре и проводимости. Как проводимость зависит от температуры для разных классов материалов? Приведите примеры элементарных, купратных, железосодержащих, интерметаллических и органических сверхпроводников. Каков механизм сверхпроводимости в данных материалах?
5. Полупроводниковые материалы. Перечислите в каких материалах и по каким причинам стоит ожидать полупроводниковые свойства. Перечислите и опишите особенности методов синтеза полупроводников. Что такое топологический изолятор? Приведите примеры топологических изоляторов.
6. Материалы с ионной и смешанной проводимостью. Перечислите и объясните физический смысл эквивалентных схем, используемых для описания годографов импеданса твердых электролитов. В чем различие блокирующих и неблокирующих твердых электролитов? По какому принципу выбираются амплитуды и частоты воздействующего сигнала при измерении спектров импеданса твердых электролитов?
7. Магнитные материалы. Назовите основные типы магнитных материалов, используемых в настоящее время. Опишите основные точки / участки петли гистерезиса. Нарисуйте и объясните зависимость коэрцитивной силы от размера частиц. Что такое магнетосопротивление и каковы причины его возникновения? Что такое магнитокалорический эффект?
8. Сегнетоэлектрики и материалы для термоэлектрических применений. Приведите примеры сегнето-, пиро- и пьезоэлектриков и опишите области их применения. В чем заключаются эффекты Пельтье и Зеебека? Что такое добротность термоэлектриков и какие характерные значения данного параметра у разных материалов?
9. Неорганические наночастицы. Каковы характерные размеры, позволяющие применять термин «наноматериал», чем они определяются? На качественном уровне объясните природу эффекта плазмонного резонанса и приведите пример его практического использования. Перечислите основные типы углеродных наноматериалов и их характерные особенности.
10. Получение материалов в различных формах. Объясните каким образом по методу Чохральского оказывается возможно вырастить монокристаллы большого размера при существенно меньших размерах затравочного кристалла. Опишите основные стадии получения материалов различной морфологии по золь-гель процессу. Предложите метод формирования тонкой поликристаллической пленки оксида галлия на поверхности монокристаллической пластины кремния.

11. Изготовление электродных материалов для металл-ионных батарей. Приведите примеры неорганических материалов, применяемых в качестве отрицательных электродов МИА. Рассчитайте характерные значения теоретической удельной емкости этих материалов. С чем связана необратимая потеря емкости данных материалов в ходе первых циклов заряда-разряда? Приведите примеры неорганических материалов, применяемых в качестве положительных электродов МИА. Рассчитайте характерные значения теоретической удельной емкости этих материалов. Какие способы модификации позволяют использовать материалы с низкой электронной и ионной проводимостью в качестве активных материалов для изготовления электродов МИА?

12. Керамические твердые проводники для твердотопливных элементов и металл-ионных батарей. Назовите твердый литий-проводящий электролит с рекордной ионной проводимостью, объясните природу данного явления. Опишите методы синтеза литий-проводящих электролитов со структурой NASICON, гранат, аргиродит. Опишите подходы к созданию полимерных и полимер-керамических электролитов.

13. Технологические аспекты производства металл-ионных аккумуляторов. Перечислите основные операции при производстве металл-ионных аккумуляторов. Как порядок введение компонентов электродной массы влияет на конечные характеристики конечных аккумуляторов?

14. Лабораторные и промышленные методы синтеза электродных активных материалов и сепараторов. Какие материалы преимущественно используются в качестве сепараторов металл-ионных аккумуляторов? Каким образом их получают? Какие требования предъявляются к сепараторам и каким образом они достигаются? В чем отличие природного и искусственного графита? Какие способы изготовления и модификации графита вы знаете? Какие параметры материала изменяются при модификации графита? Опишите методы синтеза смешанных оксидов и литий-железо фосфата.

15. Комплексы металлов. Катализаторы для топливных элементов. Определение катализатора. Теория Баландина. Комплексы металлов, металлические катализаторы. Гомогенный и гетерогенный катализ. Типы и принцип работы катализаторов для топливных элементов. Отравление катализатора.

Вопросы к экзамену:

1. Полимеры. Строение полимеров, включая основную и боковую цепь. Классификация полимеров. Методы получения полимеров.
2. Понятие молекулярно-массовых характеристик полимеров, включая полидисперсность. Связь молекулярно-массовых характеристик полимеров с их свойствами.
3. Растворы полимеров. Вязкость полимеров и их растворов. Понятие хороший, плохой и  $\theta$ -растворитель. Состояние полимера в растворе. Влияние параметров раствора полимера на изделия и пленки на основе полимеров.
4. Механика полимерных материалов. Кривые деформации полимеров для различных фазовых состояний. Релаксационные процессы в полимерах.
5. Фазовые переходы. Понятие сегмента Куна. Температура плавления, стеклования и кристаллизации. Кристалличность полимеров. Стеклообразное, вязкотекучее и высокоэластичное состояние полимеров.
6. Полимеры с ионной проводимостью. Полиэлектролиты. Химическая структура и методы получения.
7. Проводящие композитные материалы на основе полимеров. Виды проводящих добавок и методы введения.
8. Полимеры с электронной проводимостью, включая полипиррол, полианилин, поли(3,4-этилендиокситиофен).
9. Методы обработки полимерных материалов. Формование, литье, экструзия, аддитивные технологии, спинкоатинг, электрораспыление и электроспиннинг, литографические методы.
10. Методы получения полимерных пленок и мембран.
11. Механизм координации лития полиэтиленоксидом. Кристалличность полиэтиленоксида.
12. Влияние температуры на ионную проводимость полимерных электролитов.
13. Типы добавок для повышения проводимости. Наиболее часто используемые соли в качестве добавок.
14. Влияние природы добавки на механику пленки. Влагопоглощение различных добавок.
15. Твердые и гелевые полимерные электролиты для металл-ионных батарей. Методы получения. Полимерные электролиты на основе полиэтиленоксида.

16. Полимеры для создания мембран для топливных элементов. Структура перфторированных сульфосодержащих полимеров Nafion и Aquvion. Полибензимидазолы и др. полимеры для топливных элементов.
17. Определение стимул-чувствительных материалов. Примеры.
18. Виды сенсоров для определения теплового разгона: неорганические и органические.
19. Металлы и сплавы как конструкционные материалы. Методы переработки. Прочностные характеристики и применение.
20. Неметаллические материалы. Графит, керамика, полимеры как конструкционные материалы. Прочностные характеристики и применение.
21. Композиционные полимерные материалы. Углепластики. Армированные полимеры. Применение.
22. Цифровое материаловедение. Моделирование свойств, в том числе прочностных свойств.
23. Тенденции развития полимерных функциональных и конструкционных материалов, включая как электрохимические источники тока и топливные элементы, так и другие электрохимические устройства, в том числе «умные стекла», сенсоры и др.

Дополнительные вопросы:

1. На рисунке представлена рентгенограмма кристаллического полимера, полиэтиленоксида, и кристаллического неорганического оксида,  $\text{LiCoO}_2$ . Соотнесите рентгенограммы объясните свой выбор.
2. На рисунке представлены данные измерения молекулярно-массовых характеристик перфторированного сульфоинонного полимера со структурой Nafion из двух разных партий. Будут ли отличаться прочностные характеристики пленок, полученных из разных партий полимера? Почему?
3. Предложите материал с высокой ионной проводимостью и термической стойкостью до 300°C.
4. Опишите различие в ионной проводимости для ионной жидкости, полимерного электролита и твердой соли.
5. Оцените преимущества и недостатки углепластиков по сравнению с металлическими материалами.

Примеры экзаменационных билетов.

Пример 1:

1. Керамические материалы. Определение и методы получения. Структура NASICON и объяснение ионной проводимости.
2. Предложите материал, который бы мог использоваться для создания биполярных пластин в топливном элементе с протонпроводящей полимерной мембраной. Перечислите критерии выбора в соответствии с эксплуатационными характеристиками.

Пример 2:

1. Приведите пример полимерных материалов (можно композитных), обладающих ионной проводимостью и объясните взаимосвязь химической структурой и проводимостью
2. Перечислите методы получения пленок, мембран и покрытий. Дайте краткую характеристику каждому методу.

## Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов – выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов – выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов – выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов – выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов – выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов – выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла – выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний недостаточно правильные формулировки базовых понятий нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла – выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний допускающему ошибки в формулировках базовых понятий нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла – выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл – выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

В осеннем семестре предусмотрен дифференцированный зачет (устный, который проводится по вопросам программы (в билете два теоретических вопроса). Опрос по билету не может превышать 60 минут, на подготовку выделяется не более 60 минут.

В весеннем семестре предусмотрен устный экзамен, проводимый по билетам. В экзаменационном билете два вопроса. Опрос по билету не должен превышать 60 минут, время на подготовку ответа не более 60 минут.