

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
физической химии



Козадеров О.А.
03.04.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.01.02 Электрохимические технологии в синтезе новых материалов

- 1. Код и наименование направления подготовки:** 04.03.02 Химия, физика и механика материалов
- 2. Профиль подготовки:** Химия, физика и механика новых функциональных материалов и наноматериалов
- 3. Квалификация выпускника:** магистр
- 4. Форма обучения:** Очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** 1004 физической химии
- 6. Составители программы:** Грушевская С.Н., к.х.н., доцент
- 7. Рекомендована:** НМС химического факультета от 27.03.2025, протокол № 10-03
- 8. Учебный год:** 2026/2027

Семестр: 3

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Цель дисциплины - формирование у обучающихся компетенций в области знания термодинамических и кинетических закономерностей электрохимических процессов, умения выбора метода получения материалов с заданным составом, структурой и свойствами, а также владения базовыми электрохимическими технологиями синтеза новых материалов (включая наноматериалы).

Задачи дисциплины:

- сформировать у обучающихся систему знаний об основных закономерностях термодинамики и кинетики электрохимических процессов в материаловедении,
- обучить базовым принципам разработки и выбора электрохимической методики получения материалов с заданным составом, прогнозируемыми структурой и свойствами;
- привить навыки проведения электрохимического синтеза материалов (включая наноматериалы, а также электрохимического анализа их состава и свойств.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Часть, формируемая участниками образовательных отношений Блока 1.

Требования к входным знаниям, умениям и навыкам: умение дифференцировать и интегрировать элементарные функции, знание специальных интегралов, основ линейной алгебры, классической термодинамики и химической кинетики.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-3	Способен овладеть в профессиональной деятельности основными типовыми методами анализа веществ, элементного и фазового состава, структуры и свойств материалов (включая наноматериалы)	ПК-3.1	Способен использовать знание о составе, структуре и свойствах материалов для решения задач материаловедения	Знать: основные закономерности электрохимической термодинамики и кинетики, их роль в формировании структуры и свойств синтезируемых материалов Уметь: применять полученные знания для решения практических задач в материаловедении Владеть: электрохимическими методами получения материалов с заданными составом, структурой и свойствами
		ПК-3.2	Владеет основами синтеза и анализа веществ	Знать: базовые принципы разработки технологических схем получения новых материалов с контролируемыми свойствами Уметь: использовать электрохимическое оборудование для проведения синтеза и анализа материалов (включая наноматериалы) Владеть: способами обработки и интерпретации полученных экспериментальных результатов в области электрохимического материаловедения

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 4 / 144.

Форма промежуточной аттестации *зачет с оценкой*

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			Семестр3
Аудиторные занятия		56	56
в том числе:	лекции	18	18

	практические	38	38
	лабораторные	-	-
Самостоятельная работа		88	88
в том числе: курсовая работа (проект)		-	-
Форма промежуточной аттестации - <i>зачет с оценкой</i>			
Итого:		144	144

13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
1. Лекции			
1.1	Механизмы нуклеации и морфология растущей поверхности	Термодинамические условия формирования новой фазы. Морфология поверхности растущей фазы и функциональные свойства получаемых материалов. Основные типы конфигураций и предпосылки их формирования. Понятия зародыша критического размера, 3D и 2D-зародышей. Морфологические характеристики поверхности и механизмы нуклеации. Зародышевый, беззародышевый и смешанный механизмы. Влияние условий образования новой фазы на морфологию растущей поверхности. Электрохимическая размерная обработка металлов. Электролитическое травление и полирование. Оксидные покрытия металлов.	ЭУМК "Физикохимия процессов фазообразования" https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3990
1.2	Электрохимическая термодинамика в процессах получения новых материалов	Электрохимический потенциал. Равновесие в электрохимических системах. Условие самопроизвольного протекания электрохимического процесса формирования новой фазы. Напряжение цепи и электродные потенциалы. Поляризация и перенапряжение. Анод и катод в электрохимической цепи и электролизере. Термодинамические модели гомогенной и гетерогенной нуклеации. Специфика электрокристаллизации. Образование кристаллических зародышей. Термодинамические модели формирования 3D и 2D зародышей. Явления осаждения при недонапряжении. Активность 2D-слоев. Размерный фактор в нуклеации. Особенности термодинамического описания наносистем. Атомистический подход к термодинамике нуклеации.	ЭУМК "Физикохимия процессов фазообразования" https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3990
1.3	Основы электрохимической кинетики	Равновесное распределение зародышей по размерам. Модель потоков зародышей в пространстве размеров. Отклонение распределения зародышей по размерам от равновесного. Стационарное и нестационарное состояния системы. Модели мгновенного и прогрессирующего зародышеобразования. Модели нормального и латерального роста новой фазы. Ток обмена. Диффузионный и кинетический контроль. Электроосаждение в условиях диффузионных ограничений и в отсутствие ингибиторов. Кинетика разряда в присутствии поверхностно-активных веществ. Роль поверхностной диффузии в кинетике фазообразования. Роль миграции в процессах фазообразования в расплавах. Критериальные координаты для определения кинетической модели	ЭУМК "Физикохимия процессов фазообразования" https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3990

		формирования и роста новой фазы. Маскирующие эффекты и способы их элиминирования.	
1.4	Электроосаждение металлов и сплавов, их структура и свойства	Стационарное электрохимическое фазообразование при высоких и умеренных перенапряжениях. Нестационарное электрохимическое фазообразование в потенциостатических условиях - основные закономерности. Электрохимическое зародышеобразование в гальваностатических условиях - основные закономерности. Особенности осаждения металлов из комплексных электролитов. Электроосаждение сплавов. Выход по току и соосаждение примесей в стационарных и нестационарных режимах электрокристаллизации. Формирование структуры осадков металлов и сплавов. Текстура электроосажденных металлов и сплавов. Дисперсность покрытий. Дефекты структуры и природа внутренних напряжений в электролитических покрытиях. Влияние примесей на структуру электролитических покрытий.	ЭУМК "Физикохимия процессов фазообразования" https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3990
1.5	Роль электрокристаллизации и в нанотехнологиях	Локализация процесса электрокристаллизации и наноструктурирование осадка. Нуклеация и рост зародышей в нанопорах. Электроосаждение металлов в шаблоны и образование 0D нановпадин. Сканирующая туннельная микроскопия как инструмент локализации наноразмерных осадков. Электрохимическое изготовление металлических наноконтактов и нанозазоров. СТМ/АСМ комбинированный метод.	ЭУМК "Физикохимия процессов фазообразования" https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3990
2. Практические занятия			
2.1	Механизмы нуклеации и морфология растущей поверхности	Роль условий формирования новой фазы на тип морфологии ее поверхности. Предпосылки реализации различных механизмов нуклеации и роста новой фазы. Влияние механизмов нуклеации новой фазы на морфологию растущей поверхности. Прогнозирование морфологии поверхности получаемых материалов. Расчет толщины снятого при электрохимической полировке слоя металла или сплава, толщины оксидной пленки, анодно сформированной на поверхности металла.	ЭУМК "Физикохимия процессов фазообразования" https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3990
2.2	Электрохимическая термодинамика в процессах получения новых материалов	Расчет констант равновесия электрохимических процессов по экспериментально измеренным значениям напряжения в электрохимической цепи. Принципы выбора материала анода и катода в электрохимических технологиях получения новых материалов. Расчет формы и размера критического зародыша, сформированного по моделям гетерогенной 2D- и 3D- нуклеации. Построение зависимостей работы образования зародыша от его размера, работы образования зародыша от величины перенапряжения, размера критического зародыша от величины перенапряжения и температуры. Моделирование атомистического приближения в термодинамике нуклеации.	ЭУМК "Физикохимия процессов фазообразования" https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3990
2.3	Основы электрохимической кинетики	Модельный расчет плотности тока электроосаждения из раствора и их расплава, сопоставление полученных значений и их трактовка. Определение механизма формирования зародыша и его геометрии (2D- или 3D-) по экспериментальным зависимостям плотности тока от времени.	ЭУМК "Физикохимия процессов фазообразования" https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3990
2.4	Электроосаждение металлов и сплавов,	Базовые принципы получения качественных покрытий и материалов с заданными составом,	ЭУМК "Физикохимия"

	их структура и свойства	структурой и свойствами при электроосаждении из раствора. Расчет перенапряжений при совместном присутствии ионов металла в растворе. Сопоставление и трактовка полученных результатов. Принцип работы потенциостата и трехэлектродной электрохимической ячейки.	процессов фазообразования" https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3990
--	-------------------------	---	--

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Механизмы нуклеации и морфология растущей поверхности	4	8	0	16	28
2	Электрохимическая термодинамика в процессах получения новых материалов	4	12	0	20	36
3	Основы электрохимической кинетики	4	10	0	20	34
4	Электроосаждение металлов и сплавов, их структура и свойства	4	8	0	20	32
5	Роль электрокристаллизации в нанотехнологиях	2	0	0	12	14
	Итого:	18	38	0	88	144

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

На лекциях обучающиеся получают основной блок информации по разделам дисциплины. На каждом лекционном занятии может быть проведен краткий опрос обучающихся по материалам прошлой лекции с целью выявления проблем в восприятии информации. Дополнительное изучение конспектов лекций обучающиеся осуществляют самостоятельно с использованием рекомендованной литературы (п. 15) и учебно-методических пособий (п. 16). Некоторые темы, не характеризующиеся высокой степенью сложности, выносятся на самостоятельное освоение обучающимися.

На практических занятиях обучающиеся применяют полученную на лекциях информацию для решения практических задач в области материаловедения:

- осваивают полученные на лекциях теоретические знания;
- знакомятся с расчетными подходами при выборе или разработке технологий получения материалов с заданными свойствами;
- анализируют и интерпретируют результаты экспериментов по синтезу новых материалов и определению их состава, структуры, свойств.

Обучение лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом их индивидуальных психофизических особенностей. Для лиц с нарушением слуха информация по учебной дисциплине предоставляется на бумажном или электронном носителе, допускается присутствие ассистентов и сурдопереводчиков на занятиях. Промежуточная аттестация для таких студентов проводится в письменной форме с общими критериями оценивания; при необходимости время подготовки на экзамене может быть увеличено.

Для лиц с нарушением зрения допускается аудиальное предоставление информации с использованием программ-синтезаторов речи, а также использование звукозаписывающих устройств на лекциях. На занятиях также может присутствовать ассистент. При проведении промежуточной аттестации для лиц с нарушением зрения тестирование может быть заменено на устное собеседование; время подготовки на экзамене может быть увеличено.

Студенты с нарушениями опорно-двигательного аппарата могут проходить часть занятий дистанционно. Промежуточная аттестация для них проводится на общих основаниях, при необходимости процедура экзамена может быть реализована дистанционно.

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ

«Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «MOOK ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton), электронная почта, мессенджеры и соцсети.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Плит В. Электрохимия в материаловедении: [учебное пособие] / В. Плит ; пер. с англ. О.Д. Чаркина, Л.А. Фишгойт, А.А. Митрофанова.— Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2015 .— 446 с.
2.	Дамаскин Б.Б. Электрохимия : [учебное пособие для студ., обуч. по направлению подгот. "Химия"] / Б.Б. Дамаскин, О. А. Петрий, Г. А. Цирлина .— Изд. 3-е, испр. — Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2015 .— 670 с.
3.	Гамбург Ю.Д. Теория и практика электроосаждения металлов = Theory and practice of metal electrodeposition / Ю.Д. Гамбург, Дж. Зангари; пер. с англ. Ю.Д. Гамбурга. Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2016. — 438 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4.	Березин Н.Б. Электроосаждение металлов из водных растворов комплексных соединений: монография / Ж.В. Межевич; Казан. нац. исслед. технол. ун-т; Н.Б. Березин .— Казань : КНИТУ, 2015 .— 168 с. : URL: https://rucont.ru/efd/595724 (дата обращения: 07.05.2025)
5.	Анисимов М.П. Поверхности скоростей зародышеобразования / М.П. Анисимов; – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. – 172 с. : Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=575309 (дата обращения: 07.05.2025). – Текст : электронный.
6.	Лисичкин Г.В. Химия поверхности неорганических наночастиц / Г.В. Лисичкин, А.Ю. Оленин, И.И. Кулакова. – Москва : Техносфера, 2020. – 380 с.. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=617529 (дата обращения: 07.05.2025). – Текст : электронный.
7.	Ролдугин В.И. Физикохимия поверхности / В.И. Ролдугин. – М. : ЦУП Интеллект, 2008. – 568 с.
8.	Мелихов И.В. Физико-химическая эволюция твердого вещества / И.В. Мелихов. – М. : БИНОМ, 2006. – 309 с.
9.	Гамбург Ю.Д. Электрохимическая кристаллизация металлов и сплавов / Ю.Д. Гамбург. - М. : Янус-К, 1997. - 384 с.
10.	Поветкин В.В. Структура и свойства электролитических сплавов / В.В. Поветкин, И.М. Ковенский, Ю.И. Устиновщиков. – М. : Наука, 1992. – 255 с.
11.	Суздаев И.П. Нанотехнология : физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П. Суздаев. – М. : КомКнига, 2006. – 592 с.
12.	Помогайло А.Д. Наночастицы металлов в полимерах / А.Д. Помогайло, А.С. Розенберг, И.Е. Уфлянд. – М. : Химия, 2000. – 672 с.
13.	Методы получения и свойства нанообъектов / Н.И. Минько [и др.]. – М.: Флинта : Наука, 2009. – 168 с.
14.	Рамбиди Н.Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н.Г. Рамбиди, А.В. Березкин. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 456 с.
15.	Прикладная электрохимия / под ред. А.П.Томилова. – М. : Химия, 1984. – 520 с.
16.	Лукомский Ю.Я. Физико-химические основы электрохимии / Ю.Я. Лукомский, Ю.Д. Гамбург. – Долгопрудный: Интеллект, 2008. – 423 с.
17.	Электрохимия /Ф.Миомандр [и др.] – М.: Техносфера, 2008. – 359 с.
18.	Барабошкин А.Н. Электрокристаллизация из расплавленных солей /А.Н. Барабошкин. – М. : Наука, 1976. – 279 с.
19.	Сборник примеров и задач по электрохимии: учебное пособие / А.В. Введенский и др. Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2018. 204 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет):

№ п/п	Источник
20.	Зональная Научная Библиотека ВГУ www.lib.vsu.ru
21.	Ковенский И.М. Металловедение покрытий / И.М. Ковенский, В.В. Поветкин. – М. : СП Интермет Инжиниринг, 1999. – 296 с. http:// www.galvanicrus.ru /lit /books.php
22.	ЭУМК "Физикохимия процессов фазообразования" https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3990

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	Физикохимия процессов фазообразования : учебно-методическое пособие / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: С.Н. Грушевская, Н.В. Соцкая. Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018. <URL: http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m18-187.pdf >.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При реализации дисциплины проводятся лекции, текущая аттестация в форме письменных контрольных работ, практические и лабораторные занятия.

При реализации учебной дисциплины используются элементы электронного обучения и различные дистанционные образовательные технологии, позволяющие обеспечивать опосредованное взаимодействие (на расстоянии) преподавателей и обучающихся, включая инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «МООК ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), проведение вебинаров, видеоконференций (в том числе с применением сервисов Zoom, Discord и др.), взаимодействие в соцсетях, посредством электронной почты, мессенджеров.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционные занятия:

Учебная (лекционная) аудитория 167 – специализированная мебель.

Практические занятия:

Учебная (лекционная) аудитория 167 - специализированная мебель.

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1	Механизмы нуклеации и морфология растущей поверхности	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2	Перечень вопросов Практическое задание
2	Электрохимическая термодинамика в процессах получения новых материалов	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2	Перечень вопросов Практическое задание
3	Основы электрохимической кинетики	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2	Перечень вопросов Практическое задание
4	Электроосаждение металлов и сплавов, их структура и свойства	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2	Перечень вопросов Практическое задание
5	Роль электрокристаллизации и в нанотехнологиях	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2	Перечень вопросов

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет				Перечень вопросов Практическое задание

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1. Текущий контроль успеваемости

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в формах: устного опроса (индивидуальный опрос, фронтальная беседа); письменных работ (контрольные работы и рефераты); тестирования; оценки результатов практической деятельности (лабораторные работы).

Текущая аттестация обеспечивает проверку освоения учебного материала, приобретения знаний, умений и навыков в процессе аудиторной и самостоятельной работы. Она включает регулярные отчеты по лабораторным работам, выполнение тестовых и иных заданий к лекциям. При подготовке к текущей аттестации студенты изучают рекомендованную преподавателем литературу по темам лекционных и лабораторных занятий, самостоятельно осваивают понятийный аппарат и закрепляют теоретические знания. Планирование и организация текущих аттестаций знаний, умений и навыков осуществляется в соответствии с содержанием рабочей программы и календарно-тематическим планом с применением фонда оценочных средств. Текущая аттестация является обязательной, ее результаты оцениваются в балльной системе и могут быть учтены при промежуточной аттестации обучающихся.

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Задания для контрольной работы №1.

1. Определить размер критического зародыша и работу его образования при степени пересыщения, равной трем, в процессе конденсации водяного пара на высоте 2 км, если известно, что с повышением на каждые 100 м температура влажного воздуха снижается на $0,44^{\circ}\text{C}$. Температура в нижнем слое атмосферы составляет 30°C . Как изменятся полученные результаты, если высота достигнет 5; 10 км? Зависимости плотности и поверхностного натяжения воды от температуры найти в справочнике.

2. Рассчитать радиус критического зародыша и энергию его образования при водяного пара при давлении 0,9 атм, если поверхностное натяжение воды $0,072 \text{ Н/м}$, а молярный объем $18 \text{ см}^3/\text{моль}$. Что изменится, если давление снизится до 0,8 и 0,7 атм? Получить графические зависимости энергии образования зародышей от их размера в трех разных условиях.

3. Определить размер кубических зародышей NaCl, кристаллизующихся из пересыщенного 80%-ного раствора, если концентрация насыщенного при 25°C раствора составляет 60%. Плотность твердого NaCl $13,55 \text{ г/см}^3$, поверхностное натяжение $0,115 \text{ Н/м}$.

4. Рассчитать размер критического зародыша при кристаллизации (600°C) хлорида лития из его расплава, если молярная теплота плавления $13,4 \text{ кДж/моль}$, температура плавления 605°C , поверхностное натяжение LiCl $1,7 \text{ Н/м}$.

5. Рассчитать размер критических зародышей кадмия и энергию их образования при температуре 590°C .

6. Зависимость давления насыщенного пара меди от температуры выражается уравнением: $\lg p^0 = A - B/T$ (мм рт.ст.), где $A = 8,5$; $B = 16600$. Получить зависимость размера критического зародыша от температуры для процесса кластеризации меди из ее паров при давлении 1 мм рт.ст. Рассчитать размер зародышей, полученных при 1600°C ; 1500°C ; 1400°C .

7. При каком перенапряжении следует вести электроосаждение меди из сульфатного раствора, чтобы получить кубические зародыши со стороной грани $0,4 \text{ нм}$? Молярный объем меди $7,1 \text{ см}^3/\text{моль}$, поверхностное натяжение $1,354 \text{ Н/м}$.

8. Какой режим нуклеации будет осуществляться при электроосаждении меди на платине при температуре 20°C и перенапряжении $0,1 \text{ В}$, если параметр решетки равен $0,36 \text{ нм}$; молярный объем $7,1 \text{ см}^3/\text{моль}$; поверхностное натяжение $1,354 \text{ Н/м}$; флотационная сила $0,054 \text{ Н/м}^2$?

9. Никель осаждают на собственную подложку при перенапряжении 0,05 В. Определить работу образования критического зародыша кубической формы и количество атомов в нем, если поверхностное натяжение никеля 1,75 Н/м, а плотность 13,55 г/см³.

10. Сравните объемы зародышей жидкого этанола критического размера при гомогенном и гетерогенном образовании. Температура 20⁰С, давление 4000 Па, давление насыщенного пара 5333 Па, поверхностное натяжение 22 мДж/м², плотность 0,789 г/см³, краевого угла смачивания 95⁰.

11. Получена экспериментальная зависимость плотности тока от времени:

$t, \text{с}$	1	2	3	4	5	6	7	8
$i, \text{мкА/см}^2$	1	3,9	9,1	15,7	24,9	36,3	48	65

Определить характер активации потенциальных центров 2D-зародышеобразования и природу лимитирующей стадии. Перекрывание зон растущих зародышей не учитывать.

12. Получена экспериментальная зависимость плотности тока от времени:

$t, \text{с}$	1	2	3	4	5	6	7	8
$i, \text{мА/см}^2$	0,04	0,08	0,12	0,16	0,2	0,24	0,28	0,32

Определить характер активации потенциальных центров, тип зародышеобразования и природу лимитирующей стадии, если известно, что гидродинамический режим не оказывает влияния на скорость процесса. Перекрывание зон растущих зародышей не учитывать.

13. Получена экспериментальная зависимость плотности тока от времени:

$t, \text{с}$	1	2	3	4	5	6
$i, \text{мкА/см}^2$	1	7,8	27,2	63,9	126	215

Предложите модель 3D-нуклеации. Перекрывание зон растущих зародышей не учитывать.

14. Получена экспериментальная зависимость плотности тока от времени:

$t, \text{с}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$i, \text{мкА/см}^2$	3	6	9	12	15	18	21	24	27

Определить характер активации потенциальных центров, тип зародышеобразования и природу лимитирующей стадии, если установлено влияние перемешивания раствора на скорость процесса. Перекрывание зон растущих зародышей не учитывать.

Пример заданий для контрольной работы № 2

1. Оксидирование меди проводят в растворе, содержащем 150 г/л NaOH при плотности тока $i = 0,5 \text{ А дм}^{-2}$, напряжении $U = 6 \text{ В}$ и температуре $T = 80^{\circ}\text{C}$. Определить молярную концентрацию раствора и толщину оксидного слоя, сформированного за 10 минут, если площадь подложки $S = 50 \text{ см}^2$.

2. Как долго следует проводить оксидирование цинка площадью 10 см^2 в растворе $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ при комнатной температуре и плотности тока $i = 0,5 \text{ А дм}^{-2}$, чтобы получить оксидный слой толщиной 0,1 мкм. Учесть, что выход по току составляет 80%.

3. Металлическую поверхность площадью 100 см^2 необходимо покрыть слоем кадмия толщиной 0,38 мм. Сколько времени следует проводить электролиз током 2,5 А, если выход кадмия по току составляет 90%. Плотность кадмия равна $8,65 \text{ г·см}^{-3}$.

4. Железный лист, общая поверхность которого равна 1000 см^2 , опущен в качестве катода в раствор соли цинка. Какой толщины достигнет слой цинка, выделившегося за 25 мин на катоде, если средняя плотность тока равна $2,5 \text{ А·дм}^{-2}$. Плотность цинка равна $7,15 \text{ г·см}^{-3}$.

5. Через раствор ZnCl_2 в ячейке с Pt-электродами пропустили заряд 6 А·ч, при этом на электроде выделилось 6,52 г цинка. Определить выход по току процесса осаждения цинка.

6. При пропускании электрического тока через водный раствор, содержащий смесь NiCl_2 и FeCl_2 , прошел заряд 57900 Кл. Найти массы Ni и Fe, выделившихся на катоде в мольном соотношении 2:1, считая выход по току 100%.

7. Электролиз водного раствора AgNO_3 продолжался 2 часа. Ток в это время изменялся по закону $I = 1/(t + a)$ (t – время в часах, a – постоянная). При этом на катоде выделилось 5,98 г серебра. Скорость растворения серебряного анода в конце электролиза оказалась равна $4,48 \cdot 10^{-6} \text{ г·с}^{-1}$. Рассчитать выход по току.

8. Плотность TI равна $11,85 \text{ кг·дм}^{-3}$. Вычислить электрический заряд, необходимый для электроосаждения одного монослоя TI на электроде с истинной площадью поверхности $0,0176 \text{ см}^2$ из раствора Ti^+ . Принять, что атомы имеют форму куба и плотно упакованы.

9. Амальгаму кадмия получали, пропуская постоянный ток силой 500 мА через водный раствор соли Cd^{2+} , используя в качестве катода каплю донной ртути массой 10 г. Получите

зависимость массовой доли кадмия ω в амальгаме от времени пропускания тока. Сколько времени нужно, чтобы получить амальгаму с $\omega = 10\%$?

10. Металлическая деталь, поверхность которой равна 100 см^2 , должна быть покрыта слоем электролитически осажденного никеля толщиной $0,3 \text{ мм}$. а) Сколько времени должно длиться осаждение при силе тока 3 А ? б) Сколько времени потребуется на осаждение того же количества никеля, если выход по току 90% ? Плотность никеля $\rho = 9 \text{ г·см}^{-3}$.

Примеры практических заданий

- Предложить способ электрохимического получения дисперсной платины;
- Провести электроосаждение меди из раствора на различных подложках;
- Выбрать способ электрохимического получения защитных цинковых покрытий;
- Предложить методы электрохимического получения оксидов с различными структурными и морфологическими параметрами;
- Разработать методику совместного электроосаждения меди и цинка из раствора;
- Предложить способ электроосаждения сплавов Ni-Zn.

При выполнении практических заданий необходимо ответить на вопросы:

- Какие электрохимические реакции лежат в основе метода;
- Каковы термодинамические предпосылки роста новой фазы;
- Рассчитать размер критических зародышей и работу их образования;
- Какая морфология характерна для полученных осадков? Как она зависит от технологических параметров процесса?
- Рассчитать скорость роста осадка при различных количественных параметрах электролиза;
- Определить геометрию растущих зародышей, тип активации потенциальных центров зародышеобразования и природу лимитирующей стадии.

20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Промежуточная аттестация проводится в форме зачета (3 семестр).

Контроль успеваемости по дисциплине на зачете осуществляется по результатам текущей аттестации, если задания текущей аттестации выполнены не менее, чем на 75% . В случае отсутствия удовлетворительных результатов текущей аттестации контроль успеваемости по дисциплине на зачете осуществляется с помощью оценочных средств, представленных в п. 20.1.

Критерии оценивания на зачете:

Критерии оценивания	Шкала оценок
Обучающийся владеет теоретическими основами по данному разделу физической химии или электрохимии, знает основные понятия и определения, иллюстрирует ответ примерами, фактами, применять теоретические знания для решения практических задач. Возможно, что обучающийся при ответе допускает ошибки, которые способен исправить по указанию преподавателя. Возможно, обучающийся испытывает трудности при применении теоретических знаний для решения практических задач, но ориентируется при обсуждении возникших трудностей с преподавателем.	Зачтено
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания теоретических основ по данному разделу физической химии или электрохимии, допускает грубые ошибки при применении теоретических знаний для решения практических задач. Не владеет основными понятиями, определениями и примерами, иллюстрирующими основные закономерности физической химии. Не способен применять теоретические знания для решения практических задач.	Не зачтено

20.3. Фонды оценочных средств для проведения диагностических работ с целью оценки остаточных знаний по результатам освоения дисциплины

По компетенции ПК-3

Закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

1. Укажите выражение для расчета степени отклонения системы от равновесия при переохлаждении расплава ниже температуры кристаллизации T^0 (выберите один вариант):
 - 1) $\Delta\mu = \Delta H_{пл}(T^0 - T)$
 - 2) $\Delta\mu = \Delta H_{пл}(T^0 - T)/T^0$
 - 3) $\Delta\mu = RT\ln(T/T^0)$
 - 4) $\Delta\mu = RT\ln(T - T^0)/T^0$
2. Что является основным параметром при определении степени пересыщения (через разности химических потенциалов) при превышении стандартного равновесного потенциала электродного процесса (выберите один вариант):
 - 1) давление
 - 2) температура
 - 3) перенапряжение
 - 4) концентрация
3. Для какого типа нуклеации допустимо условие недонасыщения ($\Delta\mu < 0$) (выберите один вариант):
 - а) гетерогенная 2D
 - б) гомогенная 3D
 - в) гетерогенная 3D
 - г) ни один из перечисленных
4. Необходимым условием осаждения при недонапряжении является (выберите один вариант):
 - 1) $\Delta\sigma = \Delta\mu$
 - 2) $\Delta\sigma = 0$
 - 3) $\Delta\sigma > 0$
 - 4) $\Delta\sigma < 0$
5. С повышением перенапряжения размер критического зародыша новой фазы (выберите один вариант):
 - 1) не меняется
 - 2) уменьшается
 - 3) увеличивается
 - 4) зависит от условий
6. Активность адсорбированных 2D-слоев металла на инородной подложке (выберите один вариант):
 - 1) $=1$
 - 2) >1
 - 3) <1
 - 4) $\neq 1$
7. Рост осадка по механизму Франка - Ван-дер-Мерве не включает стадию (выберите один вариант):
 - 1) диффузия в растворе
 - 2) образование зародыша
 - 3) поверхностная диффузия
 - 4) адсорбция
8. Рост осадка по механизму Фольмера-Вебера не включает стадию (выберите один вариант):
 - 1) диффузия в растворе
 - 2) образование смачивающего слоя
 - 3) образование зародыша
 - 4) поверхностная диффузия
9. Для процесса роста осадка по механизму Странски-Крастанова характерно наличие стадии (выберите один вариант):
 - 1) диффузия в растворе
 - 2) образование зародыша
 - 3) поверхностная диффузия
 - 4) образование смачивающего слоя
10. При увеличении адгезии растущего зародыша к инородной подложке работа зародышеобразования (выберите один вариант):
 - 1) становится больше
 - 2) становится меньше
 - 3) не меняется
 - 4) зависит от условий
11. Укажите основную особенность атомистического приближения теории нуклеации (выберите один вариант):
 - 1) учет немоного характера изменения энтропии при присоединении каждого последующего атома к зародышу
 - 2) учет роли инородной подложки в механизме нуклеации
 - 3) учет геометрической формы растущего зародыша
 - 4) учет величины угла смачивания при расчете работы зародышеобразования
12. Для повышения качества электрохимических покрытий необходимо (выберите один вариант):
 - 1) исключить перемешивание раствора
 - 2) повысить плотность тока
 - 3) понизить концентрацию ионов за счет комплексообразующих агентов
 - 3) понизить температуру.

Ключи

Вопросы	1	2	3	4	5	6
Ответы	2	3	1	4	2	3

Вопросы	7	8	9	10	11	12
Ответы	3	2	4	4	1	3

Открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности)

1. Минимальное скопление частиц новой фазы, находящееся в равновесии с первичной, называется критический _____. (вставить слово - существительное)

2. Формирование зародышей новой фазы в объеме материнской фазы называют _____ нуклеацией. (вставить слово - прилагательное)

1. Ток электрокристаллизации из расплава, как правило, _____ (вставить слово - сравнительное прилагательное), чем ток электрокристаллизации из раствора.

2. На атомно-шероховатой поверхности с высокой концентрацией активных центров зародышеобразования реализуется _____ (вставить слово - прилагательное) рост трехмерного осадка, характеризующийся отсутствием ярко выраженной кристалличности, наличием сфероидов и блоков.

Ключи

Вопросы	1	2
Ответы	зародыш	гомогенной
Вопросы	3	4
Ответы	больше	нормальный

Открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности):

1. Определить выход по току (в процентах) в процессе электрохимического осаждения серебра из раствора AgNO_3 , если при пропускании 96500 Кл электричества на катоде образовалось 0,7 моль серебра.

Ответ: 70%

2. Оксидирование образца меди проводят в растворе NaOH при плотности тока $i = 50 \text{ А м}^{-2}$. Определить толщину слоя оксида Cu(II) , сформированного за 10 минут. Учесть, что плотность оксида Cu(II) составляет 6310 кг м^{-3} , а выход по току составляет 100%. Ответ привести в мкм с точностью до целых.

Ответ: 2

3. Какому перенапряжению соответствует разность химических потенциалов в 965 Дж/моль, если в процессе участвует 1 электрон? Ответ укажите в милливольты (мВ) с точностью до целого числа.

4. Рассчитать разность химических потенциалов между пересыщенным паром (при температуре 25°C и давлении 10 атм) и образующимися каплями воды. Ответ представить в кДж/моль, округлив до целого числа.

Ключи

Задача	1	2
Ответы	70%	2
Вопросы	3	4
Ответы	10	6

Критерии и шкалы оценивания:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

- 2 балла – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

3) открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности):

- 5 баллов – задание выполнено верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход выполнения (при необходимости));
- 2 балла – выполнение задания содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода его выполнения (если оно было необходимым), или задание выполнено не полностью, но получены промежуточные (частичные) результаты, отражающие правильность хода выполнения задания, или, в случае если задание состоит из выполнения нескольких подзаданий, 50% которых выполнено верно;
- 0 баллов – задание не выполнено или выполнено неверно (ход выполнения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее его изучение).