

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
физической химии



О.А. Козадеров

12.04.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.07 Физикохимия процессов фазообразования**

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

04.04.01 Химия

2. Профиль подготовки/специализация: Физическая химия

3. Квалификация выпускника: МАГИСТР

4. Форма обучения: Очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: физической химии

6. Составители программы: Соцкая Надежда Васильевна, к.х.н., доцент
Грушевская Светлана Николаевна, к.х.н., доцент

7. Рекомендована:

Научно-методическим Советом химического факультета от 11.04.2024,
протокол №4_

8. Учебный год: 2024-2025

Семестр: 2

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью преподавания дисциплины является формирование у обучающихся системы представлений о физической химии процессов фазообразования, теоретических основах термодинамики и кинетики фазообразования и физико-химических основах ее использования в научных исследованиях и технологических процессах.

Задачи настоящего курса состоят в том, чтобы на основании полученных теоретических знаний обучающиеся могли правильно выбирать методы синтеза новых материалов, разработать схему их получения, прогнозировать свойства.

10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП: блок Б1. Часть, формируемая участниками образовательных отношений. Обязательная дисциплина. Для освоения этой части цикла студент должен иметь базовые знания фундаментальных разделов физики и химии, (прежде всего физической, неорганической, аналитической, органической, химии высокомолекулярных соединений, химической технологии); уметь применять основные законы химии и физики при обсуждении полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-2	Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в области физической и неорганической химии	ПК-2.1 ПК-2.2	Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	Знать: теоретические основы термодинамики и кинетики фазообразования; уметь: правильно выбирать методы синтеза новых материалов, разрабатывать схему их получения, прогнозировать свойства; владеть (иметь навык(и)): использования теоретической базы в научных исследованиях и технологических процессах
ПК-3	Способен на основе критического анализа результатов НИР и НИОКР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в области физической и неорганической химии	ПК-3.1 ПК-3.2.	Систематизирует информацию, полученную в ходе НИР и НИОКР, анализирует ее и сопоставляет с литературными данными Определяет возможные направления развития работ и перспективы практического применения полученных результатов	Знать: основные формы самостоятельной работы с учебной литературой; Уметь: систематизировать знания, полученные в ходе аудиторных занятий; Владеть: основными методами представления результатов работы в виде отчета и доклада с презентацией.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 7/ 252.

Форма промежуточной аттестации – ЭКЗАМЕН

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
			2 семестр	...
Аудиторные занятия	54		54	
в том числе: лекции	18		18	
практические	-		-	
лабораторные	36		36	
Самостоятельная работа	162		162	
Форма промежуточной аттестации	36		36	
Итого:	252		252	

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
1. Лекции			
1.1	Термодинамика фазообразования	Условия фазообразования. Образование кристаллических зародышей. Энергетика зародышеобразования. Гомогенная и гетерогенная нуклеация. Явления "осаждения при недонапряжении" (underpotential deposition). Механизмы нуклеации. Атомистический подход к термодинамике нуклеации. Термодинамическая модель кластера. Особенности термодинамического описания наносистем. Термодинамика электрохимического зародышеобразования. Термодинамика зародышеобразования в многокомпонентных электрохимических системах	ЭУМК "Физикохимия процессов фазообразования" https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3990
1.2	Кинетика фазообразования	Кинетика фазообразования. Общий подход. Стационарное и нестационарное состояния. Нестационарные эффекты по Зельдовичу и обусловленные активацией латентных центров зародышеобразования. Теории мгновенного и прогрессирующего зародышеобразования. Стационарное электрохимическое фазообразование при высоких и умеренных перенапряжениях. Нестационарное электрохимическое фазообразование в потенциостатических условиях. Электрохимическое зародышеобразование в гальваностатических условиях. Основные закономерности. Гальваностатическое включение при диффузионном и кристаллизационном перенапряжениях. Нуклеация и рост зародышей в нанопорах вещества. Нуклеация и рост зародышей на основе твердотельных реакций. Кинетика роста тонких слоев металла и осадка в объеме раствора при химическом осаждении	ЭУМК "Физикохимия процессов фазообразования" https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3990
1.3	Морфология растущей поверхности	Морфология растущей поверхности металла. Нормальный и слоевой рост. Скорость перемещения ступени при слоевом росте.	ЭУМК "Физикохимия процессов

		Распределение перенапряжений на полосе между ступенями. Морфологические характеристики поверхности осадков. Влияние адсорбции поверхностно-активных веществ. Кристаллическая нерегулярная шероховатость	фазообразования" https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3990
1.4	Структура осадков металлов и сплавов	Формирование структуры осадков металла и сплавов. Границы зерен. Дефекты упаковки кристаллической решетки. Двойниковые границы. Дислокации. Точечные дефекты. Текстура электроосажденных металлов и сплавов. Дисперсность покрытий. Дефекты структуры и природа внутренних напряжений в электролитических покрытиях. Тонкая структура. Структура и концентрационная неоднородность покрытий. Влияние на структуру электролитических покрытий примесей. Источники примесей в осадках. Предпосылки теоретического анализа кинетики соосаждения. Теоретический анализ кинетики соосаждения примесей. Зависимость концентраций включений от условий осаждения	ЭУМК "Физикохимия процессов фазообразования" https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3990
1.5	Электроосаждение металлов и сплавов	Кинетика электроосаждения металлов. Процессы в диффузионном слое электрода. Электроосаждение в условиях диффузионных ограничений и в отсутствие ингибиторов. Кинетика разряда в присутствии поверхностно-активных веществ. Особенности осаждения металлов из комплексных электролитов. Электроосаждение сплавов. Термодинамические и кинетические закономерности. Распределение плотности тока по шероховатой поверхности. Роль геометрических факторов. Эволюция микропрофиля при неравномерном первичном распределении тока. Изменение шероховатости поверхности в условиях вторичного и третичного распределения тока. Импульсные и периодические токи в электроосаждении. Нестационарная диффузия. Наложение синусоидального тока на постоянный. Стационарный и пульсирующие слои. Импульсные режимы. Прямоугольные импульсы тока. Роль паузы тока или анодного периода. Потенциостатические условия: включение тока. Линейная развертка тока и потенциала. Особенности процессов с периодически меняющимся потенциалом. Распределение тока. Выход по току и соосаждение примесей при импульсных и реверсивных режимах	ЭУМК "Физикохимия процессов фазообразования" https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3990
1.6	Физико-химические основы использования нуклеации в технологических процессах	Роль электрокристаллизации в нанотехнологиях. Энергетическое состояние поверхности электрода и пространственное распределение нанокластеров. Электрохимический синтез ультратонких пленок. Рост 2D и 3D кластеров и образование субпотенциально осажденных монослоев. Локализация процесса электрокристаллизации и наноструктурирование осадка. Электроосаждение металлов в шаблоны и образование 0D нановпадин. Подход снизу-вверх и сверху-вниз SPM. Экспериментальные данные по электроосаждению STM-наконечником. Методика получения нановпадин и осаждение нульразмерного металла. Наномасштабная электрокристаллизация металлов и полупроводников из ионных жидкостей. Электрохимические и поверхностные свойства	ЭУМК "Физикохимия процессов фазообразования" https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3990

		ионных жидкостей. SPM-методика исследования ионных жидкостей. Субпотенциальное осаждение металлов: фазообразование и фазовые переходы. Сравнение процессов в водных растворах и ионных жидкостях. Спинодальное разложение и легирование поверхности. Осаждение металлов, сплавов и полупроводников при перенапряжении. Электрохимическое изготовление металлических наноконтактов и нанозазоров. STM/АСМ комбинированный метод. Электроосаждение на поверхности электродов. Электрохимическое травление. Наноконтакты, изготовленные с использованием нанопор. Твердофазные электрохимические реакции. Свойства металлических контактов: механические, электронные, электрохимические. Свойства устройств: магнитные, сенсорные.	
2. Лабораторные работы			
2.1	Термодинамика фазообразования	Термодинамический подход к расчету работы образования зародышей различной формы и геометрии по гомогенному и гетерогенному маршрутам. Работа образования критического зародыша. Выражения размера зародыша через радиус, объем и количество частиц. Получение выражений для определения радиуса, объема критического зародыша и количества частиц в нем. Построение расчетных зависимостей размера зародыша от пересыщения и перенапряжения.	ЭУМК "Физикохимия процессов фазообразования" https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=3990
2.2	Кинетика фазообразования	Кинетический подход к описанию процессов фазообразования. Условия стационарного и нестационарного состояний. Распределение зародышей по размеру. Расчет скорости зародышеобразования при мгновенном и прогрессирующем режимах активации потенциальных центров роста новой фазы. Стационарное электрохимическое фазообразование при высоких и умеренных перенапряжениях. Нестационарное электрохимическое фазообразование в потенциостатических условиях. Электрохимическое зародышеобразование в гальваностатических условиях. Кинетика роста тонких слоев металла и осадка в объеме раствора при химическом осаждении. Кинетика роста оксидных слоев при электрохимическом и температурном окислении.	
2.3	Морфология растущей поверхности	Основные типы морфологии растущей фазы. Факторы, определяющие тип морфологии растущей фазы. Выбор условий для формирования определенного типа морфологии.	
2.4	Структура осадков металлов и сплавов	Основные типы дефектов структуры кристаллической решетки. Условия формирования дефектной и бездефектной структуры. Условия получения сплошных, дисперсных и нанопористых материалов. Влияние примесей на структуру электролитических покрытий. Теоретического анализа кинетики соосаждения. Теоретический анализ кинетики соосаждения примесей.	
2.5	Электроосаждение металлов и сплавов	Осаждение металлов из простых и комплексных электролитов. Электроосаждение сплавов. Гальваностатический режим осаждения: прямоугольные импульсы тока. Потенциостатический режим осаждения: одно- и многоступенчатая поляризация.	ЭУМК "Физикохимия процессов фазообразования" https://edu.vsu

		Гальванодинамический режим: линейная развертка тока. Потенциодинамический режим: линейная развертка потенциала. Определение выхода по току.	.ru/course/view.php?id=3990
2.6	Физико-химические основы использования нуклеации в технологических процессах	Электроосаждение на поверхности электродов. Электрохимический синтез наноразмерных пленок металлов, сплавов и оксидов металлов. Способы локализации процесса электрокристаллизации и наноструктурирования осадка. Электроосаждение металлов в шаблоны и ионообменники. Субпотенциальное осаждение металлов. Исследование адсорбционных слоев. Электрохимическое травление, полировка и обезжиривание.	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции и	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.1	Термодинамика фазообразования	4		6	32	42
1.2	Кинетика фазообразования	2		6	36	44
1.3	Морфология растущей поверхности	2		6	30	38
1.4	Структура осадков металлов и сплавов	2		6	28	36
1.5	Электроосаждение металлов и сплавов	4		6	36	46
1.6	Физико-химические основы использования нуклеации в технологических процессах	4		6	36	46
	Итого:	18		36	198	252

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Составление конспектов. Самостоятельное изучение отдельных тем. Выполнение домашних заданий. Подготовка к практическим и лабораторным занятиям. Подготовка к текущей и промежуточной аттестации.

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «МООК ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton, Zoom, Discord и др.), 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.	Еремин, В.В. Основы физической химии. Учебное пособие в 2 ч. 1 / В.В. Еремин .— 3-е изд. эл. — Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013 .— 322 с. — (Учебник для высшей школы) . <URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=214231 >.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4.	Ролдугин В.И. Физикохимия поверхности / В.И. Ролдугин. – М. : ЦУП Интеллект, 2008. – 568 с.
5.	Мелихов И.В. Физико-химическая эволюция твердого вещества / И.В. Мелихов. – М. : БИНОМ, 2006. – 309 с.
6.	Гамбург Ю.Д. Электрохимическая кристаллизация металлов и сплавов / Ю.Д. Гамбург. - М. : Янус-К, 1997. - 384 с.
7.	Поветкин В.В. Структура и свойства электролитических сплавов / В.В. Поветкин, И.М. Ковенский, Ю.И. Устиновщиков. – М. : Наука, 1992. – 255 с.
8.	Суздаев И.П. Нанотехнология : физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П. Суздаев. – М. : КомКнига, 2006. – 592 с.
9.	Помогайло А.Д. Наночастицы металлов в полимерах / А.Д. Помогайло, А.С. Розенберг, И.Е. Уфлянд. – М. : Химия, 2000. – 672 с.
10.	Методы получения и свойства нанообъектов / Н.И. Минько [и др]. – М.: Фланта : Наука, 2009. – 168 с.
11.	Рамбиди Н.Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н.Г. Рамбиди, А.В. Березкин. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 456 с.
12.	Прикладная электрохимия / под ред. А.П.Томилова. – М. : Химия, 1984. – 520 с.
13.	Лукомский Ю.Я. Физико-химические основы электрохимии / Ю.Я. Лукомский, Ю.Д. Гамбург. – Долгопрудный: Интеллект, 2008. – 423 с.
14.	Электрохимия /Ф.Миомандр [и др.] – М.: Техносфера, 2008. – 359 с.
15.	Барабашкин А.Н. Электроструктуризация из расплавленных солей /А.Н. Барабашкин. – М. : Наука, 1976. – 279 с.

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

№ п/п	Источник
16.	Зональная Научная Библиотека ВГУ www.lib.vsu.ru
17.	Ковенский И.М. Металловедение покрытий / И.М. Ковенский, В.В. Поветкин. – М. : СП Интернет Инжиниринг, 1999. – 296 с. http:// www.galvanicrus.ru /lit /books.php
18.	Григорян Н.С. Фосфатирование. / Н.С. Григорян, Е.Ф. Акимова, Т.А. Ваграмян. – М. : Глобус, 2008. – 144 с. http:// www.galvanicrus.ru /lit /books.php
19.	Интернет портал для химиков http://www.chemweb.com
20.	Интернет-ресурсы - библиотека http://www.twirpx.com
21.	Портал научно-технической информации ЭБ Нефть и Газ 2007 www.nglib.ru
22.	Интернет портал образовательных ресурсов http://window.edu.ru
23.	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:

Реактивы и химическая посуда, доска ученическая, комплексная лаборатория, весы аналитические, иономеры, сушильный шкаф

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
1.1	Термодинамика фазообразования	ПК-2.1 ПК-3.1	ПК-2.1, 2.2 ПК-3.1, 3.2	Практическое задание
1.2	Кинетика фазообразования	ПК-2.1 ПК-3.1	ПК-2.1, 2.2 ПК-3.1, 3.2	Контрольная работа
1.3	Морфология растущей поверхности	ПК-2.1 ПК-3.1	ПК-2.1, 2.2 ПК-3.1, 3.2	Контрольная работа Практическое задание
1.4	Структура осадков металлов и сплавов	ПК-2.1 ПК-3.1	ПК-2.1, 2.2 ПК-3.1, 3.2	Практическое задание
1.5	Электроосаждение металлов и сплавов	ПК-2.1 ПК-3.1	ПК-2.1, 2.2 ПК-3.1, 3.2	Практическое задание Контрольная работа
1.6	Физико-химические основы использования нуклеации в технологических процессах	ПК-2.1 ПК-3.1	ПК-2.1, 2.2 ПК-3.1, 3.2	Практическое задание Контрольная работа
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Комплект КИМ

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

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 стороны грани 0,4 нм? Молярный объем меди 7,1 см³/моль, поверхностное натяжение 1,354 Н/м.

8. Какой режим нуклеации будет осуществляться при электроосаждении меди на платине при температуре 20°C и перенапряжении 0,1 В, если параметр решетки равен 0,36 нм; молярный объем 7,1 см³/моль; поверхностное натяжение 1,354 Н/м; флотационная сила 0,054 Н/м?

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 20°C, давление 4000 Па, давление насыщенного пара 5333 Па, поверхностное натяжение 22 мДж/м², плотность 0,789 г/см³, краевой угол смачивания 95°.

11. Получена экспериментальная зависимость плотности тока от времени:

t, c	1	2	3	4	5	6	7	8
$i, мкА/см^2$	1	3,9	9,1	15,7	24,9	36,3	48	65

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

12. Получена экспериментальная зависимость плотности тока от времени:

t, c	1	2	3	4	5	6	7	8
$i, мА/см^2$	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. Перекрытие зон растущих зародышей не учитывать.

13. Получена экспериментальная зависимость плотности тока от времени:

t, c	1	2	3	4	5	6
$i, мкА/см^2$	1	7,8	27,2	63,9	126	215

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

14. Получена экспериментальная зависимость плотности тока от времени:

t, c	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$i, мкА/см^2$	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. Перекрытие 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 см² в растворе K₂Cr₂O₇ 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 см² 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 г·см⁻³.

4. Железный лист, общая поверхность которого равна 1000 см², 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 А·дм⁻². Плотность цинка равна 7,15 г·см⁻³.

5. Через раствор ZnCl₂ 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 $4,48 \cdot 10^{-6} \text{ г} \cdot \text{с}^{-1}$. Рассчитать выход по току.

8. Плотность TI равна $11,85 \text{ кг} \cdot \text{дм}^{-3}$. 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 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 $\rho = 9 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$.

Примеры практических заданий для лабораторных работ

- Электрохимическое получение дисперсной платины;
- Электроосаждение меди;
- Электрохимическое получение цинковых покрытий;
- Электрохимическое осаждение оксидных фаз;
- Совместное электроосаждение меди и цинка;
- Электроосаждение сплавов Ni-Zn.

Провести качественный и количественный анализ результатов, полученных при выполнении лабораторных заданий, ответив 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.

Задания для проведения диагностических работ с целью оценки остаточных знаний по результатам освоения дисциплины

ПК-2

1) тестовые задания:

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) образование зародыша
4) поверхностная диффузия
3. 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
4. При увеличении величины угла смачивания инородной подложки фазой растущего зародыша работа зародышеобразования (выберите один вариант):
- 1) становится больше
2) становится меньше
3) не меняется
4) зависит от условий
5. Укажите основную особенность атомистического приближения теории нуклеации (выберите один вариант):
- 1) учет немонотонного 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
6. 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	3	2	4	4	1	3

Повышенный уровень сложности

1. Ток электрокристаллизации из расплава, как правило, _____ (вставить слово), чем ток электрокристаллизации из раствора
2. На атомно-шероховатой поверхности с высокой концентрацией активных центров зародышеобразования реализуется _____ (вставить слово) рост трехмерного осадка, характеризующийся отсутствием ярко выраженной кристалличности, наличием сфероидов и блоков.

Ключи

Вопросы	1	2
Ответы	больше	нормальный

2) расчетные задачи:

Простая задача.

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%

Сложная задача.

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

Ключи

Задача	1	2
Ответы	70%	2

20. 2. Промежуточная аттестация

Комплект КИМ для экзамена

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., доц. _____ О.А. Козадеров

__ . __ . 20 __

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина Физикохимия процессов фазообразования
Форма обучения ОЧНОЕ
Вид контроля ЭКЗАМЕН
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Способы управления морфологией растущей поверхности металла.
2. Теории мгновенного и прогрессирующего зародышеобразования.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. С.Н. Грушевская

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., доц. _____ О.А. Козадеров

__ . __ . 20 __

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина Физикохимия процессов фазообразования
Форма обучения ОЧНОЕ
Вид контроля ЭКЗАМЕН
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 2

1. Нормальный и слоевой рост электрохимических покрытий.
2. Термодинамика 3D-нуклеации в объеме материнской фазы.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. С.Н. Грушевская

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., доц. _____ О.А. Козадеров

__ . __ .20__

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина Физикохимия процессов фазообразования
Форма обучения очное
Вид контроля экзамен
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 3

1. Кинетические модели роста осадка.
2. Атомистический подход к термодинамике нуклеации.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. С.Н. Грушевская

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., доц. _____ О.А. Козадеров

__ . __ .20__

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина Физикохимия процессов фазообразования
Форма обучения очное
Вид контроля экзамен
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 4

1. Термодинамика 3D-нуклеации на границе раздела.
2. Электроосаждение сплавов.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. С.Н. Грушевская

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., доц. _____ О.А. Козадеров

___. ___. 20__

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина Физикохимия процессов фазообразования
Форма обучения очное
Вид контроля экзамен
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 5

1. Условия перехода от 3D- к 2D- нуклеации.

2. Равновесное и стационарное распределение зародышей по размерам. Потoki зародышей в пространстве размеров.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. С.Н. Грушевская

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., доц. _____ О.А. Козадеров

___. ___. 20__

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина Физикохимия процессов фазообразования
Форма обучения очное
Вид контроля экзамен
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 6

1. Гетерогенное 2D-зародышеобразование.

2. Механизм прямого встраивания. Кинетический и диффузионный режимы.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. С.Н. Грушевская

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., доц. _____ О.А. Козадеров

___. __. 20__

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина Физикохимия процессов фазообразования
Форма обучения очное
Вид контроля экзамен
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 7

1. Роль адгезии в процессе гетерогенного зародышеобразования.
2. Особенности осаждения металлов из комплексных электролитов.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. С.Н. Грушевская

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., доц. _____ О.А. Козадеров

___. __. 20__

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина Физикохимия процессов фазообразования
Форма обучения очное
Вид контроля экзамен
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 8

1. Условия и термодинамические особенности осаждения при недонапряжении
2. Механизм поверхностной диффузии. Кинетический и диффузионный режимы.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. С.Н. Грушевская

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., доц. _____ О.А. Козадеров

__ . __ .20 __

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина Физикохимия процессов фазообразования
Форма обучения очное
Вид контроля экзамен
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 9

1. Зависимость размера критического зародыша от условий роста новой фазы.
2. Способы локализации электрохимических покрытий.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. С.Н. Грушевская

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., доц. _____ О.А. Козадеров

__ . __ .20 __

Направление подготовки / специальность 04.04.01 Химия
Дисциплина Физикохимия процессов фазообразования
Форма обучения очное
Вид контроля экзамен
Вид аттестации промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 10

1. Специфика электрокристаллизации (зависимость поверхностного натяжения на межфазных границах и краевого угла пузырька газа от перенапряжения; концентрационная и омическая составляющие перенапряжения).
2. Кинетическое описание процессов, сопровождающих зародышеобразование и способы оценки их вклада в общий поток.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. С.Н. Грушевская

20.2.2. Требования к выполнению заданий и критерии оценивания

Для оценивания результатов обучения на экзаменах используются следующие показатели:

- 1) знание теоретической базы термодинамики и кинетики фазообразования;
- 2) умение применять основные теоретические закономерности для решения практических задач;
- 3) умение иллюстрировать ответ практическими примерами;
- 4) владение способами получения новых фаз с заданными свойствами

Для оценивания результатов обучения в ходе текущей и промежуточной аттестации используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное соответствие ответа обучающегося всем перечисленным критериям. Продемонстрировано знание теоретической базы термодинамики и кинетики фазообразования, умение иллюстрировать ответ практическими примерами, умение применять основные теоретические закономерности для решения практических задач, владение способами получения новых фаз с заданными свойствами	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному из перечисленных показателей, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует двум из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы.	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует перечисленным показателям. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания теории, допускает грубые ошибки при трактовке практических задач	–	<i>Неудовлетворительно</i>

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме контрольных работ. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования. Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практические задания, позволяющие оценить степень сформированности умений и навыков. При оценивании используются количественная шкала оценок. Критерии оценивания приведены выше.

При реализации дисциплины с применением дистанционных образовательных технологий оценки за экзамен/зачет могут быть выставлены по результатам текущей аттестации обучающегося в семестре.