

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
физической химии



А.В. Введенский

04.06.2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.03 Физикохимия процессов фазообразования**

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

04.04.01 Химия

2. Профиль подготовки/специализация: Физическая химия

3. Квалификация (степень) 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 24.05.18, протокол № 5

8. Учебный год: 2018-2019

Семестр(ы): 1, 2

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью преподавания дисциплины является обучение студентов теоретическим основам термодинамики и кинетики фазообразования и физико-химическим основам ее использования в научных исследованиях и технологических процессах.

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

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: блок Б1. Вариативная часть. 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/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-1	способность использовать и развивать теоретические основы традиционных и новых разделов химии при решении профессиональных задач	знать: теоретические основы термодинамики и кинетики фазообразования; уметь: правильно выбирать методы синтеза новых материалов, разработать схему их получения, прогнозировать свойства; владеть (иметь навык(и)): использования теоретической базы в научных исследованиях и технологических процессах

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 12 / 432.

Форма промежуточной аттестации зачет с оценкой, экзамен

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		1 семестр	2 семестр	...
Аудиторные занятия	110	54	56	
в том числе: лекции	36	18	18	
практические	36	36	-	
лабораторные	38	-	38	
Самостоятельная работа	286	126	160	
Форма промежуточной аттестации (зачет – 0 час. / экзамен – __ час.)	36	-	36	
Итого:	432	180	252	

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
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
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
1.3	Морфология растущей поверхности	Морфология растущей поверхности металла. Нормальный и слоевой рост. Скорость перемещения ступени при слоевом росте. Распределение перенапряжений на полосе между ступенями. Морфологические характеристики поверхности осадков. Влияние адсорбции поверхностно-активных веществ. Кристаллическая нерегулярная шероховатость
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
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.

		<p>Линейная развертка тока и потенциала. Особенности процессов с периодически меняющимся потенциалом. Распределение тока. Выход по току и соосаждение примесей при импульсных и реверсивных режимах</p>
1.6	Физико-химические основы использования нуклеации в технологических процессах	<p>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 ионных жидкостей. SPM-методика исследования ионных жидкостей. Субпотенциальное осаждение металлов: фазообразование и фазовые переходы. Сравнение процессов в водных растворах и ионных жидкостях. Спиноидальное разложение и легирование поверхности. Осаждение металлов, сплавов и полупроводников при перенапряжении.</p> <p>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.</p> <p><i>Электрохимическое изготовление нанозазоров. Применение нанозазоров. Электрохимические методы получения нанопроводов (ESED). Общие положения. Прямое электроосаждение нанопроволоки. Метод циклирования (электроосаждение /растворение). Химический синтез нанопроводов. «Утончение» нанопроволоки электроокислением.</i></p>
2. Практические занятия		
2.1	Термодинамика фазообразования	<p>Термодинамический подход к определению 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. Радиус, объем критического зародыша и количество частиц в нем. Расчетные зависимости размера зародыша от пересыщения и перенапряжения.</p>
2.2	Кинетика фазообразования	<p>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.</p>
2.3	Морфология растущей поверхности	<p>Основные типы морфологии растущей фазы. Факторы, определяющие тип морфологии растущей фазы. Выбор условий для формирования определенного типа морфологии.</p>
2.4	Структура осадков металлов	<p>Основные типы дефектов структуры кристаллической решетки.</p>

	и сплавов	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.
3. Лабораторные работы		
3.1	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. Гальванодинамический режим: линейная развертка тока. Потенциодинамический режим: линейная развертка потенциала. Определение выхода по току.
3.2	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	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.1	Термодинамика фазообразования	6	12		42	60
1.2	Кинетика фазообразования	6	12		42	60
1.3	Морфология растущей поверхности	6	12		42	60
1.4	Структура осадков металлов и сплавов	6		12	64	82
1.5	Электроосаждение металлов и сплавов	6		14	66	86
1.6	Физико-химические основы использования нуклеации в технологических процессах	6		12	66	84
	Итого:	36	36	38	322	432

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.

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 нанобъектов / Н.И. Минько [и др.]. – М.: Флинта : 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. Электрoкpисталлизация 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.galvanicus.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.galvanicus.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

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

№ п/п	Источник
1.	Сборник примеров и задач по электрохимии : учебное пособие / [А.В. Введенский и др.] .— Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2018 .— 204, [1] с.
2.	Физикохимия процессов фазообразования: учебно-методическое пособие для вузов. / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: С.Н. Грушевская, Н.В. Соцкая — Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2018. – 96 с.

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебники, учебные пособия, задачки, мультимедиа техника.

19. Фонд оценочных средств:

19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС (средства оценивания)
ОПК-1 способность использовать и развивать теоретические основы традиционных и новых разделов химии при решении профессиональных задач ОПК-...	Знать: теоретические основы термодинамики и кинетики фазообразования	1.1-1.6	Контрольная работа №1, Контрольная работа №3 в форме реферата
	Уметь: правильно выбирать методы синтеза новых материалов, разработать схему их получения, прогнозировать свойства	2.1-2.4	Контрольная работа №2
	Владеть навыками использования теоретической базы в научных исследованиях и технологических процессах	3.1-3.2	Контрольная работа №4
Промежуточная аттестация – зачет с оценкой Промежуточная аттестация – экзамен			Список вопросов Комплект КИМ

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения на экзамене и зачете с оценкой используются следующие показатели (ЗУНЫ из 19.1):

- 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 на экзамене и зачете с оценкой 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	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>

теоретические закономерности для решения практических задач, владение способами получения новых фаз с заданными свойствами		
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>

19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

19.3.1 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: $\lg p^{\circ} = A - B/T$ (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 $0,054 \text{ Н/м}$?

9. Никель осаждают на собственную подложку при перенапряжении $0,05 \text{ В}$. Определить работу образования критического зародыша кубической формы и количество атомов в нем, если поверхностное натяжение никеля $1,75 \text{ Н/м}$, а плотность $13,55 \text{ г/см}^3$.

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/м^2 , плотность $0,789 \text{ г/см}^3$, краевой угол смачивания 95° .

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. Перекрытие 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. Перекрытие 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. Перекрытие 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. Перекрытие зон растущих зародышей не учитывать.

19.3.2 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 $T = 80^\circ\text{С}$. 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 $8,65 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$.

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 $2,5 \text{ А}\cdot\text{дм}^{-2}$. Плотность цинка равна $7,15 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$.

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 $4,48 \cdot 10^{-6} \text{ г}\cdot\text{с}^{-1}$. 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 $\rho = 9 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$.

19.3.3. Темы рефератов для контрольной работы № 3 (примеры)

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

19.3.4 Пример заданий для контрольной работы № 4

Провести качественный и количественный анализ сообщений, подготовленных в рамках контрольной работы № 3, 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.

19.3.5 Перечень вопросов к зачету с оценкой:

1. Термодинамический подход к процессам образования кристаллических зародышей.
2. Теории мгновенного и прогрессирующего зародышеобразования.
3. Механизмы нуклеации.
4. Гальваностатическое включение при диффузионном и кристаллизационном перенапряжениях.
5. Особенности термодинамического описания наносистем.
6. Электрохимическое зародышеобразование в гальваностатических условиях.
7. Термодинамика зародышеобразования в многокомпонентных электрохимических системах.
8. Стационарное электрохимическое фазообразование при высоких и умеренных перенапряжениях.
9. Атомистический подход к термодинамике нуклеации.
10. Явления "осаждения при недонапряжении" (underpotential deposition).
11. Термодинамическая модель кластера.
12. Нестационарное электрохимическое фазообразование в потенциостатических условиях.
13. Термодинамическое описание гомогенной нуклеации.
14. Нестационарные эффекты в процессах зародышеобразования.
15. Термодинамическое описание гетерогенной нуклеации.
16. Нуклеация и рост зародышей в нанопорах вещества.
17. Термодинамика электрохимического зародышеобразования.
18. Кинетика роста тонких слоев металла и осадка в объеме раствора при химическом осаждении.
19. Термодинамические особенности зародышеобразования на инородной подложке.
20. Стационарное и нестационарное состояния в процессах фазообразования.

19.3.6 Комплект КИМ для экзамена

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский

___. ___. 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. Морфология растущей поверхности металла.
2. Рост 2D и 3D кластеров и образование субпотенциально осажденных монослоев.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. Н.В. Соцкая

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский

___. ___. 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. Энергетическое состояние поверхности электрода и пространственное распределение нанокластеров.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. Н.В. Соцкая

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский

___.___.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. Скорость перемещения ступени при слоевом росте. Распределение перенапряжений на полосе между ступенями.

2. Роль электрокристаллизации в нанотехнологиях.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. Н.В. Соцкая

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский

___.___.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. Морфологические характеристики поверхности осадков. Кристаллическая нерегулярная шероховатость.

2. Электроосаждение сплавов.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. Н.В. Соцкая

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский

___.__.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. Формирование структуры осадков металла и сплавов.
2. Импульсные и периодические токи в электроосаждении.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. Н.В. Соцкая

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский

___.__.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. Влияние адсорбции поверхностно-активных веществ на морфологию растущих осадков.
2. Термодинамические и кинетические закономерности электроосаждения сплавов.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. Н.В. Соцкая

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский

__ . __ . 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. Текстура электроосажденных металлов и сплавов.
2. Особенности осаждения металлов из комплексных электролитов.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. Н.В. Соцкая

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский

__ . __ . 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. Дефекты структуры и природа внутренних напряжений в электролитических покрытиях.
2. Кинетика разряда в присутствии поверхностно-активных веществ.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. Н.В. Соцкая

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский

___. ___. 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. Структура и концентрационная неоднородность покрытий.
2. Электроосаждение в условиях диффузионных ограничений и в отсутствие ингибиторов.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. Н.В. Соцкая

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физической химии

д.х.н., проф. _____ А.В. Введенский

___. ___. 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. Влияние примесей на структуру электролитических покрытий. Источники примесей в осадках.
2. Кинетика электроосаждения металлов.

Преподаватель _____ к.х.н., доц. Н.В. Соцкая

19.4. 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 контрольные 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.