

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
<b>1. Лекции</b>		
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.

		Линейная развертка тока и потенциала. Особенности процессов с периодически меняющимся потенциалом. Распределение тока. Выход по току и соосаждение примесей при импульсных и реверсивных режимах
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>
<b>2. Практические занятия</b>		
2.1	Термодинамика фазообразования	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.
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	Основные типы дефектов структуры кристаллической решетки.

	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.
<b>3. Лабораторные работы</b>		
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 нанообъектов / 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.	Барабошкин А.Н. Электрoкpисталлизация из расплавленных солей /А.Н. Барабoшкин. – М. : Наука, 1976. – 279 с.

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

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

**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
<b>Промежуточная аттестация – зачет с оценкой</b> <b>Промежуточная аттестация – экзамен</b>			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>Повышенны й 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  $30^{\circ}\text{C}$ . 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  $\text{NaCl}$ , кристаллизующихся из пересыщенного 80%-ного раствора, если концентрация насыщенного при  $25^{\circ}\text{C}$  раствора составляет 60%. Плотность твердого  $\text{NaCl}$   $13,55 \text{ г/см}^3$ , поверхностное натяжение  $0,115 \text{ Н/м}$ .

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

5. Рассчитать размер критических зародышей кадмия и энергию их образования при температуре  $590^{\circ}\text{C}$ .

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  $1600^{\circ}\text{C}$ ;  $1500^{\circ}\text{C}$ ;  $1400^{\circ}\text{C}$ .

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  $20^{\circ}\text{C}$  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  $20^{\circ}\text{C}$ , давление  $4000 \text{ Па}$ , давление насыщенного пара  $5333 \text{ Па}$ , поверхностное натяжение  $22 \text{ мДж/м}^2$ , плотность  $0,789 \text{ г/см}^3$ , краевой угол смачивания  $95^{\circ}$ .



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  $10 \text{ см}^2$  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  $100 \text{ см}^2$  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  $1000 \text{ см}^2$ , 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  $\text{ZnCl}_2$  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  $\text{NiCl}_2$  и  $\text{FeCl}_2$ , 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  $\text{AgNO}_3$  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  $\text{TI}^+$ . Принять, что атомы имеют форму куба и плотно упакованы.

9. Амальгаму кадмия получали, пропуская постоянный ток силой 500 мА через водный раствор соли  $\text{Cd}^{2+}$ , используя в качестве катода каплю донной ртути массой 10 г. Получите зависимость массовой доли кадмия  $\omega$  в амальгаме от времени пропускания тока. Сколько времени нужно, чтобы получить амальгаму с  $\omega = 10\%$ ?

10. Металлическая деталь, поверхность которой равна  $100 \text{ см}^2$ , 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.