

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Химический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
И.о. декана  
А. С. Князев

Рабочая программа дисциплины

**Физико-химия границ раздела фаз**

по специальности

**04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия**

Специализация:

**Фундаментальная и прикладная химия**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Химик / Химик-специалист. Преподаватель химии**

Год приема

**2024**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
В.В. Шелковников

Председатель УМК  
В.В. Шелковников

Томск – 2024

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1. Способен анализировать и интерпретировать результаты химических экспериментов, наблюдений и измерений в различных областях химии;

ОПК-2. Способен проводить синтез, анализ, изучение структуры и свойств веществ и материалов, исследовать процессы с их участием;

ОПК-3. Способен применять расчетно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием, используя современное программное обеспечение и базы данных профессионального назначения;

ПК-1. Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК 1.1 Знает теоретические основы неорганической, органической, физической и аналитической химии, применяет их при решении профессиональных задач в других областях химии.

РООПК 1.2 Умеет систематизировать и интерпретировать результаты экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии

РООПК 1.3 Умеет грамотно формулировать заключения и выводы по результатам работы

РООПК 2.1 Знает стандартные приемы и операции, используемые при получении веществ неорганической и органической природы

РООПК 2.2 Знает теоретические основы методов изучения состава, структуры и свойств для грамотного выбора метода исследования

РООПК 3.1 Знает основы теоретической физики, математического анализа и квантовой химии; основные теоретические и полуэмпирические модели, применяемые при решении задач химической направленности

РОПК 1.1 Умеет разрабатывать стратегию научных исследований, составляет общий план и детальные планы отдельных стадий.

РОПК 1.2 Умеет выбирать экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи, используя достижения современной химической науки, и исходя из имеющихся, материальных, информационных и временных ресурсов.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить физические и химические концепции целенаправленного формирования состава и строения межфазных границ.

– Овладеть техникой получения вольтамперных зависимостей полупроводниковых материалов, интерпретации результатов научных экспериментов.

– Научиться применять экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования поверхностных явлений, используя достижения современной химической науки и технологии полупроводниковых структур для решения практических задач профессиональной деятельности.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Модуль Химия материалов.

#### **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Седьмой семестр, экзамен

Восьмой семестр, зачет

#### **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: физическая химия, неорганическая химия, физико-химические методы анализа.

#### **6. Язык реализации**

Русский

#### **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 часов, из которых:

-лекции: 32 ч.

-лабораторные: 32 ч.

в том числе практическая подготовка: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

#### **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Тема 1. Введение. Значение поверхностных явлений для современной микроэлектроники.

Задачи, цели и структура курса. Теоретические и прикладные проблемы исследования поверхностных явлений.

Тема 2. Процессы удаления вещества с поверхности твердого тела.

Роль реакций растворения твердого тела (травления поверхности) в технологии полупроводниковых структур. Понятия «сухого» и «мокрого» травления.

Растворение твердых тел в жидкой среде. Протекание реакции растворения в кинетической области. Кинетика поверхностной реакции с точки зрения теории активированного комплекса.

Диффузионно-конвективный контроль при растворении твердых тел: законы Фика, диффузионная теория гетерогенного взаимодействия, диффузионный и гидродинамический слои. Толщина диффузионного слоя и скорость химической реакции на пластине и на вращающемся диске в условиях принудительной конвекции. Факторы, определяющие механизм протекания химической реакции. Внешние признаки, по которым можно сделать вывод об области протекания реакции.

Термодинамическое описание возникновения ямок травления и центров окисления на дислокациях. Кинематическая теория растворения кристаллов; анизотропия скорости растворения и огранка. Кинематические волны и роль состава травителя при растворении и образовании ямок травления. Типы дефектов, глубина нарушенного слоя, возникающего при механической и химико-механической обработке твердых тел. Изотропное и анизотропное растворение кристаллов. Теория полировки; методы и устройства для травления и полировки. Принципы подбора состава травителей (полирующих, селективных, неселективных).

Травление твердых тел в газовой среде. Методы «сухого» травления: общие понятия. Классификация и необходимость их развития; их достоинства и недостатки. Травление в газах (без или с электронным и лазерным воздействием). Особенности плазменного травления. Классификация плазменных методов по физико-химическому механизму взаимодействия с поверхностью. Контроль процесса травления и определение его конечной

точки (по времени травления, масс-спектрометрическое определение, оптико-спектральные методы).

Тема 3. Электрохимическое нанесение и удаление вещества с поверхности твердых тел в жидкой среде.

Роль электрохимических методов в формировании границ раздела фаз и обработке поверхности твердых тел, при получении структур на основе полупроводников. Основные особенности полупроводниковых электродов по сравнению с металлическими.

Природа скачков потенциала на границах раздела фаз. Строение двойного электрического слоя и распределение заряда и гальвани-(внутреннего) потенциала на границе раздела полупроводник – электролит. Суммарная емкость контакта полупроводник – электролит. Доказательство связи кинетики анодного процесса растворения полупроводников с концентрацией дырок, а скорости катодных процессов – с концентрацией электронов.

Типы поляризации и перенапряжения. Фундаментальное уравнение электрохимической кинетики (вывод). Уравнение Тафеля, коэффициенты Тафеля. Кинетика электродных реакций при замедленной электрохимической стадии (с точки зрения теории замедленного заряда): кинетика реакции с участием свободных электронов, кинетическое уравнение полного тока через границу полупроводник – электролит. Анализ уравнения полного тока. Графическая зависимость потенциал – ток.

Анодное растворение металлов и полупроводников. Теория процесса анодирования. Уравнение Гюнтершульца и Бетца. Строение анодного оксида, режимы формирования анодных оксидов.

Катодные процессы на полупроводниковых электродах: выделение водорода, электроосаждение металлов и сплавов, предельная плотность тока.

Тема 4. Равновесие на границе твердое тело – раствор целенаправленное формирование состава и строения межфазных границ (поверхности).

Термодинамическое и кинетическое описание коррозии. Термодинамика межфазных процессов: независимое протекание сопряженных реакций окисления и восстановления, взаимосвязь их равновесных электродных потенциалов со стационарным (коррозионным) потенциалом и скоростью коррозии. Кинетические уравнения, описывающие коррозию с кислородной и водородной деполяризацией, особенности коррозии полупроводников. Принцип построения диаграмм Пурбе и их применение для оценки возможности протекания и типа коррозионного процесса. Термодинамика и кинетика межфазных процессов: равномерное, селективное и псевдоселективное растворение (окисление, разрушение) интерметаллических соединений. Термодинамика твердофазных реакций на границе твердое тело – поверхностный слой; уточнение состава поверхностного слоя с учетом возможности протекания таких реакций. Обоснование возможности существования переходного (приповерхностного) слоя кристалла с нарушенным стехиометрическим соотношением компонентов. Модели строения и состав приповерхностного слоя в зависимости от внешних факторов (рН, величина электродного потенциала) и природы вещества. Расчет протяженности приповерхностного слоя с позиции диффузионных представлений.

## **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения тестов и устных опросов по лекционному материалу, отчетов по лабораторным работам, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в седьмом семестре проводится в устной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из трех заданий. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Зачет в восьмом семестре проводится в форме защиты отчетов по лабораторным работам и индивидуального задания. Продолжительность зачета 1 час.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

- а) Электронный учебный курс по дисциплине в среде электронного обучения iDO - <https://lms.tsu.ru/enrol/index.php?id=23450>
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.
- в) Методические указания по проведению лабораторных работ.
- г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

- а) основная литература:
  - Мокроусов Г. М.; Зарубина О. Н.; Бекезина Т. П.. Межфазные превращения и формирование поверхности многокомпонентных полупроводников в жидких средах -Лань, 2021. Language: Russian, База данных: Lan Publishing.
  - Мокроусов Г. М. и др. Перестройка твердых тел на границах раздела фаз. – 1990. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000028482>.
  - Батенков В. А. Электрохимия полупроводников. Учеб. пособие. Изд. 2-е, допол. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2002. – 162 с.: ил.
  - Сангвал К. Травление кристаллов: Теория. Эксперимент. Применение: Пер. с англ. – Мир, 1990. – 492 с.
  - Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. М. : Химия, КолосС. – 2008. – 672 с.
- б) дополнительная литература:
  - Джейкок М., Парфит Дж. Химия поверхностей раздела фаз: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 269 с.
  - Л.Н. Владимирова и др. Плазменные технологии в микроэлектронике. Ч. 3. Кинетика процессов реактивного ионно-плазменного травления полупроводников в галогенсодержащей плазме. Учебно-методическое пособие для ВУЗов. – Воронеж, Издательский дом ВГУ. – 2014.
  - Салем РР. Физическая Химия. Начала Теоретической Электрохимии. Изд. 2-е. [КомКнига]; 2010. Accessed May 11, 2022. <https://search.ebscohost.com>.
  - Окислительно-восстановительные процессы с участием ионов железа и кислорода на границе металла с оксидным расплавом А. Н. Ватолин, А. И. Сотников, Н. Д. Ватолина ; Рос. акад. наук, Урал. отд-ние, Ин-т металлургии, УГТУ-УПИ, 2008. – 231 с.
  - Köhler M. Etching in microsystem technology. – John Wiley & Sons, 2008.
  - Я. А. Косенко, В. Е. Гайшуна, О. И. Тюленкова, В. Г. Денисман/ Водные композиции на основе наноразмерных частиц диоксида кремния для химико-механической полировки пластин монокристаллического кремния/ ПФМТ, 2014, выпуск 3(20), страницы 26–31.

– Price J., Barnett J., Raghavan S., Keswani M., Govingarajan R. A study of the interaction of gallium arsenide with wet chemical formulations using thermodynamic calculations and spectroscopic ellipsometry // Microelectron. Eng. –2010. – Vol.87, No.9. – P.1661–1664.

в) ресурсы сети Интернет:

– База данных "Термические константы веществ"  
[http://www.chem.msu.ru/rus/elibrary/edu\\_bases.html](http://www.chem.msu.ru/rus/elibrary/edu_bases.html)

– Общероссийская Сеть КонсультантПлюс Справочная правовая система.  
<http://www.consultant.ru>

### 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);  
– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –  
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –  
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

### 14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Лаборатории оснащены вытяжными шкафами и необходимым оборудованием:

1. Потенциостат – гальваностат IPC-Pro M.
2. Микроскоп МИИ-4.
3. Аналитические весы.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешанном формате («Актру»).

### 15. Информация о разработчиках

Зарубина Оксана Николаевна, канд. хим. наук, кафедра аналитической химии Национального исследовательского Томского государственного университета, доцент.