

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе  
и образовательным инновациям

О.Т. Прохоренко

«21» декабря 2023 г.

Регистрационный № УД- 12442 /уч.

**ХИМИЯ ПОВЕРХНОСТИ**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:**

**1-31 05 01 Химия (по направлениям)**

**направление специальности:**

**1-31 05 01-01 Химия (научно-производственная деятельность)**

2023 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 05 01-2021, типового учебного плана №G31-1-016/пр.-тип, утвержденного 31.03.2021 г., учебного плана G31-01-005уч. от 25.05.2021 и учебного плана №G311-231/уч., утвержденного 22.03.2022 г.

**СОСТАВИТЕЛИ:**

Е.И. Василевская, доцент кафедры неорганической химии Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент;  
Н.Е. Боборико, доцент кафедры неорганической химии Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент;

**РЕЦЕНЗЕНТ:**

Е.А. Стрельцов, заведующий кафедрой электрохимии Белорусского государственного университета, доктор химических наук, профессор.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой неорганической химии  
(протокол № 5 от 04.12.2023).

Научно-методическим Советом БГУ  
(протокол № 4 от 21.12.2023)

Зав.кафедрой \_\_\_\_\_



Д.В.Свиридов

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

**Цели данной учебной дисциплины** – сформировать у обучающихся представления о структуре поверхности твердых тел, понимание физических и химических процессов, протекающих на поверхности, рассмотреть способы изменения состояния поверхности, дать представление о роли поверхностных процессов в формировании свойств материалов и развитии современных технологий.

### **Задачи данной учебной дисциплины:**

- сформировать у обучающихся основные представления о структуре поверхности и подходах к ее описанию;
- развить понимание химических процессов, определяющих реальную структуру поверхности твердого тела;
- рассмотреть основные подходы к управлению состоянием поверхности твердого тела и области применения полученных результатов в современной микро- и наноэлектронике.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина «Химия поверхности» для специальности 1-31 05 01 Химия (по направлениям), направление специальности: 1-31 05 01-01 Химия (научно-производственная деятельность) является дисциплиной специализации компонента учреждения высшего образования.

Содержание данной дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами при изучении дисциплин «Неорганическая химия» и «Кристаллохимия». В содержательную часть дисциплины также включены результаты исследований, проводимых научными сотрудниками химического факультета и НИИ физико-химических проблем Белорусского государственного университета. Отдельные вопросы программы предназначены для самостоятельного изучения с использованием монографической литературы, обзорных и оригинальных статей.

### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины «Химия поверхности» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций, предусмотренных образовательным стандартом высшего образования первой ступени по специальности 1-31 05 01 Химия (по направлениям), направление специальности: 1-31 05 01-01 Химия (научно-производственная деятельность):

Разрабатывать методические подходы к направленному синтезу и модификации твердотельных и полупроводниковых материалов с заданной структурной организацией, применять методы расчета и определения их физико-химических характеристик.

Применять знания теоретических основ неорганической химии для решения расчетных задач, объяснения и прогнозирования химических процессов, разработки концепций синтеза и исследования новых структур и

соединений, обеспечения безопасного поведения в химической лаборатории.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен

**знать:**

- основные методы получения чистых поверхностей твердых тел;
- модели, используемые для описания поверхности твердых тел;
- основные типы модификаторов и способы их закрепления на

поверхности.

**уметь:**

– использовать полученные знания в научной и практической деятельности (при разработке новых материалов и устройств, решении экологических проблем, организации производственных работ и др.);

– использовать теоретический аппарат для объяснения и прогнозирования свойств модифицированных материалов;

– планировать эксперимент по модифицированию поверхности твердых тел для изменения их свойств с использованием литературных источников;

**владеть:**

– терминологией, используемой для описания поверхности твердых тел;

– методами описания состояния поверхности на основе справочных и литературных данных;

– методиками закрепления реагентов на поверхности твердых тел.

Содержание учебной дисциплины в программе представлено в виде разделов, которые характеризуются относительно самостоятельными укрупненными дидактическими единицами содержания обучения. Учебная программа задает объем материала, подлежащего изучению в учебной дисциплине, и объем сведений по каждому изучаемому вопросу.

Для организации самостоятельной работы студентов по курсу в конце программы приведен список рекомендованной литературы.

**Структура учебной дисциплины**

Всего на изучение учебной дисциплины «Химия поверхности» отведено 94 часа, в том числе 36 аудиторных часа, из них: лекции – 26 часов (в том числе 2 часа дистанционное обучение), семинарские и практические занятия – 6 часов (в том числе 2 часа дистанционное обучение), управляемая самостоятельная работа – 4 часа дистанционное обучение.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

# СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

## **Раздел 1. Роль поверхности в химии твердого тела.**

### **Раздел 2. Поверхности реальные и идеальные.**

Поверхность в макро- и микроскопическом смысле.

#### **Тема 2.1. Идеальная поверхность твердого тела.**

Понятие об атомарно-чистой и атомарно-гладкой поверхности. Экспериментальные методы получения чистых поверхностей: скол в вакууме, термическая десорбция, ионная бомбардировка, холодная эмиссия, эпитаксиальное наращивание, химическая обработка и др.

#### **Тема 2.2. Реальная поверхность твердого тела.**

Поверхности сингулярные, вицинальные, диффузионные. Понятие о фрактальных поверхностях, фрактальная размерность поверхностей твердых тел. Слоистые кристаллы. Цеолиты. Фуллерены и нанотрубки.

## **Раздел**

### **3. Особенности химической связи на поверхности.**

Сходство и различия между поверхностью и объемными кристаллами, отдельными молекулами в газовой фазе или их различными агрегатами в растворах.

Особенности химической связи на поверхности. Концепция ненасыщенных связей. Восстановление характера связей поверхностных атомов путем адсорбции и/или изменения структуры поверхности.

Движение поверхностных атомов: релаксация, реконструкция, перемещение.

### **Раздел 4. Описание поверхности твердых тел.**

Статистическая (химическая) и зонная модели.

#### **Тема 4.1. Описание поверхности в рамках статистической модели.**

Статистическая модель как модель «поверхностной молекулы». Поверхностные центры. Центры, связанные с геометрическими факторами.

Поверхностные центры кислотного и основного типов (по Льюису и по Бренстеду), их взаимосвязь. Кислотно-основное равновесие на поверхности оксидов. Влияние поверхностных кислотных и основных центров на химическую активность твердого тела.

#### **Тема 4.2. Электронная структура поверхности твердых тел.**

Модель желе. Описание поверхности в рамках зонной модели. Изгиб зон на поверхности, уровни поверхностных состояний и энергия Ферми. Область пространственного заряда и поверхностный потенциал. Поверхностные состояния донорного и акцепторного типа. Энергетические уровни поверхностных состояний. Состояние Тамма и Шокли. Примесные поверхностные состояния. Образование зон поверхностных состояний. Гетеропереход как внутренняя поверхность.

Сопоставление химического и электронного подхода к описанию поверхности.

## **Раздел 5. Адсорбция на поверхности твердых тел.**

### **Тема 5.1. Адсорбция физическая и химическая.**

Понятие об адсорбции. Экспериментальное определение величины адсорбции: весовой и объемный методы.

Мономолекулярная адсорбция Лэнгмюра. Полимолекулярная адсорбция: теория Поляни, теория Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ). Применение метода БЭТ для определения удельной поверхности твердых тел.

### **Тема 5.2. Роль адсорбированных атомов в образовании поверхностных структур.**

Природа сорбционных соединений. Хемосорбция на металлах, полупроводниках и диэлектриках. Адсорбция на ионных твердых телах. Адсорбция на кислотных и основных центрах. Влияние адсорбции на электронные поверхностные состояния.

## **Раздел 6. Химическое модифицирование поверхности твердых тел.**

### **Тема 6.1. Модификаторы.**

Основные типы модификаторов: кремнийорганические соединения, органические красители, ионы и мелкие частицы металлов, комплексы с переносом заряда, ферменты, полимеры. Требования к структуре модификатора.

**Тема 6.2. Способы закрепления реагентов на поверхности твердых тел.** Обратимая адсорбция реагентов на поверхности: красители, пленки Лэнгмюра-Блоджетт.

Включение реагента в матрицу геля, пасты или полимера, микрокапсулирование.

Золь-гель метод: стадии процесса. Модифицирование поверхности наночастиц, системы «ядро-оболочка», ормосилы.

Модифицирование поверхностей металлами: физические и химические методы. Электрохимическое и химическое осаждение мелких частиц металлов на поверхности твердых тел.

Модифицирование поверхности посредством образования химических связей. Метод иммобилизации.

Методы сборки на поверхности: матричный синтез Мэррифилда, метод молекулярного наслаивания, атомно-слоевая эпитаксия.

Создание химически модифицированных систем с использованием техники трехмерной печати.

### **Тема 6.3. Принципы подбора условий модифицирования для получения поверхностей с заданными свойствами.**

Влияние модифицирования поверхности на оптические, электрохимические и механические свойства материалов.

Использование модифицированных поверхностей в процессах молекулярного распознавания. Самосборка и самоорганизация на поверхности. Темплатный синтез.

**Раздел 8. Роль химии поверхности в становлении и развитии современных технологий.**

Химические сенсоры: схема работы, классификация, применение. Биодатчики. Микроэлектромеханические системы (MEMS).

Материалы для микроэлектроники, микроботы. Молекулярные логические устройства: проблемы и перспективы создания.

Работы в области химии поверхности твердых тел, выполняемые на химическом факультете и в НИИ физико-химических проблем Белорусского государственного университета.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8
1-2	Роль поверхности в химии твердого тела. Поверхности реальные и идеальные.	1					собеседование
3	Особенности химической связи на поверхности.	1					тест
4	Описание поверхности твердых тел.	4	2				собеседование, контрольная работа
5	Адсорбция на поверхности твердых тел.	4					контрольная работа
6	Химическое модифицирование поверхности твердых тел	8	2 (ДО)			2(ДО)	анализ научной статьи, презентация, контрольная работа
7	Роль химии поверхности в становлении и развитии современных технологий.	8, 2(ДО)	2			2(ДО)	доклад, презентация, контрольная работа

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы

1. Владимиров, Г.Г. Физика поверхности твердых тел. Учебное пособие/ Г. Г. Владимиров. – С.-Пб.: Лань, 2022. – 352 с.
2. Воробьева, Т.Н. Химия поверхности и тонких пленок/ Т. Н. Воробьева, Е. И. Василевская. – Минск: БГУ, 2009.
3. Лисичкин, Г.В. Химия поверхности неорганических наночастиц/ Г.В. Лисичкин, А.Ю, Оленин, И.И. Кулакова – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2020.
4. Химия поверхности : конспект лекций / Е. И. Василевская/ Режим доступа: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/46290>

### Перечень дополнительной литературы

1. Артемьев, М.В. Новые неорганические соединения и материалы на основе микро- и наноразмерных частиц: получение, свойства, применение / М. В. Артемьев, А. И. Лесникович, О. А. Ивашкевич. – Минск: БГУ, 2015.
2. Зураев, А.В. Супрамолекулярная химия: основные понятия и концепции: пособие для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальностям 1-31 05 02 "Химия лекарственных соединений", 1-31 05 04 "Фундаментальная химия" / А. В. Зураев; БГУ. – Минск: БГУ, 2022. – 151 с.
3. Моррисон, С. Химическая физика поверхности твердого тела/ С. Моррисон. – М.: Мир, 1980.
4. Патрушева Т.Н. Сенсорика: современные технологии микро- и наноэлектроники: учеб. пособие/ Т.Н. Патрушева. – М.: НФРА-М; Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014.
5. Ролдугин, В.И. Физикохимия поверхности: учебник-монография/ В.И. Ролдугин. – Долгопрудный: Изд. дом «Интеллект», 2011.

## **Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки**

Для оценки достижений и текущего контроля качества усвоения знаний студентами по учебной дисциплине «Химия поверхности» используется следующий диагностический инструментарий:

- ответы на практических занятиях, устный опрос;
- письменные тестовые задания;
- письменные контрольные работы по отдельным темам;
- сдача зачета по учебной дисциплине.

### **Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов**

#### **Тема 6.2. Способы закрепления реагентов на поверхности твердых тел (2 часа)**

Задания:

1. Предложите методику модифицирования поверхности  $\text{TiO}_2$ -электродов мелкими частицами серебра. Какие методы можно использовать для изучения указанной системы?
2. Предложите способы нанесения мелких частиц металлов на поверхность кремния и составьте программу исследования свойств указанной системы.
3. Предложите способы изменения состояния поверхности оксидного полупроводника.
4. Предложите способ нанесения на поверхность полупроводника монослоя органического красителя.
5. Рассмотрите возможные способы получения и методы исследования системы, представляющей собой гель  $\text{SnO}_2$ , модифицированный солями молибдена (кобальта, никеля, меди и др.).
6. Рассмотрите возможные способы модифицирования порошков и пленок  $\text{TiO}_2$  ионами  $\text{Cu}^{2+}$  и методы изучения указанных систем.
7. Рассмотрите возможные способы получения и методы исследования состояния поверхности платины, модифицированной органическими красителями.
8. Предложите способы иммобилизации ферментов на поверхности полупроводника.
9. Предложите способы закрепления на поверхности платины аминокислот или ферментов. Рассмотрите принцип действия простейшего биодатчика.

Обеспечение на образовательном портале: материал лекции и презентация по теме; ссылки на основную и дополнительную литературу.

Перечень средств диагностики: тестовая контрольная работа.

## **Раздел 7. Роль химии поверхности в становлении и развитии современных технологий (2 часа).**

Задания:

1. Приведите известные вам классификации химических сенсоров.
2. Рассмотрите принцип работы химических сенсоров. В чем заключается роль рецептора, роль транзьюсера?
3. Пользуясь доступными источниками, подготовьте сообщение об одной из групп химических сенсоров. Какие работы по сенсорной тематике выполняются на химическом факультете БГУ?
4. Рассмотрите принцип действия простейшего биодатчика. Укажите перспективные области применения биодатчиков.
5. В чем суть метода темплатного синтеза?
6. Рассмотрите принципы создания и функционирования микроэлектромеханических систем (MEMS).
7. На основании анализа оригинальных литературных источников подготовьте сообщение о проблемах и перспективах создания молекулярных логических устройств.
8. Какие теоретические положения и методы исследования химии поверхности вы используете при подготовке курсовой работы по дисциплинам специализации?

Обеспечение на образовательном портале: материал лекции и презентация по теме; ссылки на основную и дополнительную литературу.

Перечень средств диагностики: доклад, презентация.

## **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины**

Преподавание учебной дисциплины «Химия поверхности» предусматривает проведение лекций, практических занятий и управляемой самостоятельной работы студентов. На лекциях освещаются теоретические вопросы учебной дисциплины. На практических занятиях рассматриваются сложные или недостаточно освещенные в учебной литературе вопросы программы. Самостоятельная работа вне аудитории предполагает работу с учебной литературой, выполнение домашних заданий, работу на образовательном портале БГУ, подготовку к занятиям.

Организация учебного процесса по дисциплине «предусматривает использованием ряда **инновационных подходов и методов: обучающе-исследовательского, практико-ориентированного, развития критического мышления.**

Учебный процесс, организованный на основе **обучающе-исследовательского принципа**, призван формировать у студентов аналитический характер мышления, творческий подход к решению разнообразных задач, умение работать в коллективе в процессе изучения программного материала.

При проведении практических занятий студенты обеспечиваются планом занятия и творческими проблемными заданиями, которые и станут предметом обсуждения. При выполнении заданий на практических занятиях осуществляется творческая самореализация обучающихся в процессе создания образовательных продуктов, студенты имеют возможность проявить и усовершенствовать аналитические и оценочные навыки и находить наиболее рациональное решение поставленной проблемы.

**Практико-ориентированный подход** предполагает освоение содержание образования через решения практических задач, приобретение навыков эффективного выполнения научно-профессиональной деятельности, ориентацию на генерирование идей и развитие научной культуры. Одновременно развиваются навыки **критического мышления**, связанные с пониманием научной информации и способами ее трансформации.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

В процессе организации самостоятельной работы студентов на аудиторных занятиях используются как традиционные (подготовка выступления, доклада, работа с тестами, выполнение заданий с консультациями преподавателя), так и инновационные (работа в группах, анализ реальных ситуаций, составление и представление презентаций и др.) формы и методы работы. Задания УСР по учебной дисциплине составляются с

учетом индивидуальной подготовки студентов и могут быть представлены на разном уровне: от заданий, формирующих знания по изученному учебному материалу на уровне узнавания, к заданиям, формирующим компетенции на уровне воспроизведения, и далее к заданиям, формирующим компетенции на уровне применения полученных знаний.

Внеаудиторная работа предполагает самостоятельную работу с учебными пособиями, материалами научных публикаций по изучаемым темам учебной дисциплины, а также подготовку к практическим занятиям. Учебно-программные материалы, материалы для самостоятельного освоения учебного материала, список рекомендуемой литературы размещены в сетевом доступе на образовательном портале [educhem.bsu.by](http://educhem.bsu.by). При выполнении заданий требуется также осуществлять поиск и критический анализ информации в сети Интернет.

Предусматривается подготовка реферата по одной из предложенных тем учебной дисциплины. Реферат должен состоять из следующих структурных частей: титульного листа, введения, основной части, заключения и списка использованной литературы. Ссылки на литературные источники являются обязательными; допускается использование информации из электронных баз данных и сети Интернет. Объем реферата – не более 8–10 страниц формата А4.

### **Темы рефератов**

1. Основные типы модификаторов
2. Основные типы носителей при модифицировании
3. Пленки Лэнгмюра-Блоджетт
4. Матричный синтез Меррифилда
5. Метод молекулярного наслаивания
6. Модифицирование поверхности полупроводников
7. Модифицирование поверхности металлов
8. Модифицирование поверхности диоксида кремния
9. Модифицирование поверхности золота
10. Модифицирование поверхности металлами
11. Модифицирование поверхности биологически активными веществами
12. Модифицирование поверхности полимерами
13. Микроконтактная печать
14. Получение химически модифицированных материалов золь-гель методом
15. Микроэлектромеханические системы
16. Микрокапсулирование
17. Биосенсоры
18. Катализаторы на основе химически модифицированных материалов
19. Молекулярное поверхностное распознавание
20. Самосборка на поверхности как пример самоорганизации систем
21. Получение гетеропереходов полупроводник – диэлектрик, металл-диэлектрик – полупроводник, металл-полупроводник, диэлектрик-полупроводник.

## Примерный перечень вопросов к зачету

1. Роль поверхности в химии твердого тела. Поверхности идеальные и неидеальные.
2. Характер химической связи у поверхности. Движение поверхностных атомов.
3. Методы получения атомарно-чистых и атомарно-гладких поверхностей.
4. Сопоставление химического и электронного подхода к описанию поверхности.
5. Поверхностные центры кислотного и основного типов (по Льюису и по Бренстеду).
6. Геометрическое описание поверхности.
7. Химическое модифицирование поверхности.
8. Основные типы модификаторов.
9. Способы закрепления реагентов на поверхности твердых тел.
10. Пленки Лэнгмюра-Блоджетт.
11. Золь-гель метод.
12. Метод молекулярного наслаивания: суть метода, его достоинства и недостатки.
13. Суть матричного синтеза Мэррифилда.
14. Модифицирование поверхности твердых тел ионами и мелкими частицами металлов.
15. Химические сенсоры.
16. Биосенсоры.
17. Основные проблемы молекулярной электроники.
18. Самосборка на поверхности как пример самоорганизации систем.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Химия твердого тела	Кафедра неорганической химии	Нет изменений	Утвердить согласование без внесения изменений, протокол № 5 от 04.12.2023 г.
Нанохимия	Кафедра неорганической химии	Нет изменений	Утвердить согласование без внесения изменений, протокол № 5 от 04.12.2023 г.

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО  
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры неорганической химии Белорусского государственного университета (протокол № \_ от \_\_\_\_\_ г.)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_