

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король



27 июня 2025 г.

Регистрационный №УД- 14025/уч.

ЭЛЕКТРОХИМИЯ И НАНОЭЛЕКТРОХИМИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

1-31 05 04 Фундаментальная химия

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 05 04-2021, учебного плана № G31-1-237/уч. от 22.03.2022.

СОСТАВИТЕЛИ:

Е.А.Стрельцов, заведующий кафедрой физической химии и электрохимии химического факультета Белорусского государственного университета, доктор химических наук, профессор;

Н.В.Малащенко, доцент кафедры физической химии и электрохимии химического факультета Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТ:

А.И.Кулак, директор Института общей и неорганической химии, академик НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физической химии и электрохимии БГУ
(протокол № 15 от 19.06.2025)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 11 от 26.06.2025)

Заведующий кафедрой



Е.А.Стрельцов

Т. В. Ковалюк-Рибикевич
Мерз

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Электрохимия и наноэлектрохимия полупроводников важна для понимания закономерностей процессов, протекающих в фотоэлектрохимических преобразователях солнечной энергии, фотокатализаторах, при электроосаждении и электросинтезе полупроводников, получении полупроводниковых фотоэлектрохимических сенсоров и датчиков, функционировании систем записи информации. В дисциплине рассматриваются вопросы использования методов электрохимии для физико-химической идентификации полупроводников (массивных объектов, тонких пленок и наноструктурированных систем) и определения их основных электрофизических характеристик.

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – подготовка специалистов-электрохимиков, обладающих комплексом знаний в области физико-химических основ процессов, протекающих в полупроводниках, гетероструктурах на их основе, а также наноразмерных полупроводниковых системах.

Задачи учебной дисциплины:

1. Формирование у студентов целостной системы знаний фундаментальных аспектов строения полупроводниковых материалов, природы электродного потенциала и его распределение на гетерогранице полупроводник/электролит;
2. Освоение методов фотоэлектрохимической характеристики полупроводниковых систем, а также методик получения полупроводниковых наноструктур и пленок.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к модулю «Функциональные материалы» компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами: «Физическая химия», «Электрохимия», «Неорганическая химия» (учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования)

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Электрохимия и наноэлектрохимия полупроводников» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

Специализированные компетенции:

Ориентироваться в многообразии неорганических, органических, полимерных функциональных материалов с различной структурной организацией, их специфических свойствах, областях применения в химии, технологии, экспертизе, промышленности.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- теоретические основы распределения скачков потенциала на гетерогранице полупроводник/электролит;

- эффекты, обусловленные пространственным зарядом в полупроводниковом электроде;
- особенности фотоэлектрохимического поведения массивных и наноструктурированных полупроводниковых систем;
- вопросы теории, конструкции и классификации фотоэлектрохимических преобразователей (ФЭП) солнечной энергии;
- факторы, влияющие на эффективность работы ФЭП и особенности их практического использования;
- отличительные черты и характеристики основных представителей солнечных элементов первого, второго и третьего поколения;
- физико-химические методы экспериментальных исследований полупроводниковых объектов;

уметь:

- проводить оценку фотокоррозионной стабильности полупроводниковых материалов в различных растворах и предлагать различные варианты их защиты;
- решать учебные и исследовательские задачи на нахождение основных характеристик ФЭП и их зависимость от различных факторов;
- ориентироваться в перспективах и тенденциях мирового рынка ФЭП;

владеть:

- методами электрохимии для определения основных электрофизических характеристик полупроводников (ширины запрещенной зоны, концентрации основных носителей тока, диффузионной длины электронов и дырок, потенциалов плоских зон и др.).

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 7 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Электрохимия и наноэлектрохимия полупроводников» отведено для **очной формы** получения высшего образования – 102 часа, в том числе 44 аудиторных часа, лекции – 20 часов, лабораторные занятия – 12 часов, практические занятия – 4 часа, семинарские занятия – 8 часов.

Из них:

Лекции – 16 часов + 4 часа ДОТ, лабораторные занятия – 12 часов, семинарские занятия – 4 часа, практические занятия – 4 часа, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Введение в курс «Электрохимия и наноэлектрохимия полупроводников»

Тема 1.1. Предмет и задачи электрохимии полупроводников. Природа скачков потенциала на границах раздела фаз.

Основные вопросы программы, понятия, используемые в курсе. Требования к ячейкам, электролитам, электродам и источникам излучения. Особенности электрохимического и фотоэлектрохимического эксперимента. Электродвижущая сила электрохимической системы и электродный потенциал. Термодинамическое описание электрохимического равновесия. Гальванический потенциал. Уравнение Нернста. Измерение электродных потенциалов. Двойной электрический слой на твердых электродах.

Раздел 2. Электрофизические и оптические свойства полупроводников, классификация, элементы зонной теории твердых тел

Тема 2.1. Общая характеристика полупроводниковых материалов. Элементы зонной теории твердых тел.

Элементы зонной теории твердых тел. Валентная зона, зона проводимости, запрещенная зона. Уровень Ферми и функция Ферми. Поверхностные электронные состояния. Равновесные концентрации носителей тока в полупроводниках *n*- и *p*-типа проводимости, собственных полупроводниках. Перенос зарядов из полупроводника на частицы, адсорбированные на поверхности в растворах электролитов. Флуктуирующие уровни энергии окислителей и восстановителей в полярной среде.

Тема 2.2. Область пространственного заряда (ОПЗ) в полупроводнике. Распределение скачка потенциала на гетерогранице полупроводник/электролит. Эффекты, обусловленные пространственным зарядом.

Распределение скачка потенциала на гетерогранице полупроводник/электролит. Эффекты, обусловленные пространственным зарядом. Дебаевская длина экранирования (L_D), ширина ОПЗ (L_{sc}) и потенциал плоских зон полупроводниковых электродов (E_{fb}). Факторы, определяющие эти величины. Построение энергетической диаграммы контакта полупроводник-электролит. Закрепление энергетических зон на поверхности полупроводниковых электродов. Закрепление уровня Ферми. Электрохимическое определение L_{sc} , E_{fb} и концентрации основных носителей тока. Уравнение Мотта-Шоттки. Зарядка емкости двойного электрического слоя. Эквивалентные электрические схемы для границы раздела полупроводник – раствор электролита.

Раздел 3. Действие света на полупроводники. Фотоэлектрохимические процессы на поверхности полупроводниковых электродов

Тема 3.1. Поглощение света полупроводниками. Разделение фотозарядов.

Действие света на полупроводники. Разделение фотозарядов в ОПЗ. Уравнение Гартнера. Фототок и фотопотенциал. Квантовый выход фототока. Фотополяризационные измерения. Спектральная зависимость фототока и фотопотенциала. Фотоэлектрохимическое определение типа проводимости полупроводника, потенциала плоских зон, ширины запрещенной зоны, диффузионной длины неосновных носителей тока, концентрации основных носителей тока. Фотоэлектрохимические процессы при фундаментальном и нефундаментальном поглощении света. Спектральная сенсбилизация фотоэлектрохимических процессов красителями. Солнечные ячейки Гретцеля. Сенсбилизация примесями в полупроводнике.

Тема 3.2. Фотокоррозия полупроводников. Кинетический и термодинамический подход при рассмотрении фотокоррозионной проблемы.

Кинетический и термодинамический подход при рассмотрении фотокоррозионной проблемы. Коррозионное поведение важнейших полупроводниковых электродов (оксидных, халькогенидных, $A^{III}B^V$, элементных и др.). Фотокоррозионное поведение слоистых полупроводников. Пути предотвращения фотокоррозии. Светочувствительное травление полупроводников. Образование инородных слоев на поверхности полупроводников при фотокоррозии. Фотоэлектрохимические процессы в полупроводниковых гетероструктурах. Представления о фотоэлектрохимическом поведении анизотипных и изотипных гетеропереходов.

Тема 3.3. Фотоэлектрохимия наноразмерных полупроводников. Механизм фотоэлектрохимических процессов в наноструктурированных системах.

Механизм фотоэлектрохимических процессов в микрогетерогенных системах. Электронные волновые функции в полупроводниковых кластерах (квантовых точках, наночастицах). Эффекты квантования. Влияние размеров на оптические и фотоэлектрохимические свойства. Основы методов приготовления микрогетерогенных систем. Фотоэлектрохимические процессы в системе нанокристаллический полупроводниковый электрод / раствор электролита.

Раздел 4. Преобразование солнечной энергии

Тема 4.1. Принцип действия и основные характеристики фотоэлектрохимического элемента.

Классификация фотоэлектрохимических элементов для преобразования солнечной энергии. Принцип действия элементов регенеративного типа. Основные характеристики фотоэлектрохимического элемента. Фотоэлектролиз воды и его основные проблемы. Фотостимулированный электролиз воды. Фотоэлектрохимические системы с двумя полупроводниковыми электродами. Сенсбилизация широкозонных полупроводников квантовыми точками халькогенидов. Перовскитные солнечные ячейки. Современные тенденции развития фотоэлектрохимических преобразователей солнечной энергии.

Раздел 5. Получение полупроводниковых наноструктур и пленок

Тема 5.1. Химический, электрохимический и фотоэлектрохимический синтез полупроводников. Электроосаждение пленок и наноструктур полупроводников.

Выбор потенциалов и электролитов осаждения. Получение поликристаллических и эпитаксиальных пленок. Использование подпотенциального осаждения (underpotential deposition) атомных слоев элементов (металлов и халькогенов) для электросинтеза полупроводниковых халькогенидов. Электросинтез в пористых электродах.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий
(ДОТ)

Номер темы	Название темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение в курс «Электрохимия и наноэлектрохимия полупроводников»							
1.1	Предмет и задачи электрохимии полупроводников. Природа скачков потенциала на границах раздела фаз.	2		2	2			Собеседование
2	Электрофизические и оптические свойства полупроводников, классификация, элементы зонной теории твердых тел							
2.1	Общая характеристика полупроводниковых материалов. Элементы зонной теории твердых тел.	2			2			Контрольный опрос, тесты
2.2	Область пространственного заряда (ОПЗ) в полупроводнике. Распределение скачка потенциала на гетерогранице полупроводник/электролит. Эффекты, обусловленные пространственным зарядом.	4	2		2			Контрольный опрос

3	Действие света на полупроводники. Фотоэлектрохимические процессы на поверхности полупроводниковых электродов							
3.1	Поглощение света полупроводниками. Разделение фотозарядов.	2			2		2	Контрольная работа, собеседование
3.2	Фотокоррозия полупроводников. Кинетический и термодинамический подход при рассмотрении фотокоррозионной проблемы.	2 (ДОТ)						
3.3	Фотоэлектрохимия наноразмерных полупроводников. Механизм фотоэлектрохимических процессов в наноструктурированных системах.	4		2				Контрольный опрос
4	Преобразование солнечной энергии							
4.1	Принцип действия и основные характеристики фотоэлектрохимического элемента.	2	2		2		2	Контрольная работа
4.2	Химический, электрохимический и фотоэлектрохимический синтез полупроводников. Электроосаждение пленок и наноструктур полупроводников.	2 (ДОТ)			2			Собеседование, контрольный опрос
	Всего часов	20	4	4	12		4	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова. - Изд. 4-е, стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2024. - 391 с.
2. Поклонский, Н. А. Физика полупроводниковых систем. Основные понятия / Н. А. Поклонский, С. А. Вырко, О. Н. Поклонская. - Минск : Беларуская навука, 2023. - 311 с.
3. Щука А. А. Нанoeлектроника : учебное пособие для студ. высших учебных заведений, обуч. по напр. подготовки "Прикладные математика и физика" / А. А. Щука ; под общ. ред. А. С. Сигова. - 4-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2025. - 342 с.
4. Гольдаде В. А. Введение в физику полупроводников : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по спец. "Физическая электроника" / В. А. Гольдаде. - Минск : РИВШ, 2022. - 171 с.

Дополнительная литература

1. Стрельцов Е.А. Электрохимия полупроводников : учеб. пособие / Е. А. Стрельцов. – Минск : БГУ, – 2012. – 159 с. – (Классическое университетское издание).
2. Воробьева Т.Н., Кулак А.И. Химия твердого тела. Минск: БГУ.– 2004. – 147 с.
3. Гуревич Ю.Я., Плесков Ю.В. Фотоэлектрохимия полупроводников. М.: Наука.– 1983. – 312 с
4. Плесков Ю.В. Фотоэлектрохимическое преобразование солнечной энергии. М.: Химия. – 1990. – 176 с.
5. Батенков В. А Электрохимия полупроводников. Изд. 2-е, допол. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2002. – 162 с.
6. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. М.: Высшая школа, 1984.– 519 с.
7. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. М. : Химия, КолосС. – 2008. 672 с
8. Угай Я.А. Введение в химию полупроводников. М.: Высшая школа, 1975. – 302 с.
9. Калашников С.Г., Бонч-Бруевич В.Л. Физика полупроводников. М.: Высшая школа. – 1976. – 650 с.
10. Моррисон С.Р. Химическая физика поверхности твердых тел. М: Мир, 1980, 488 с.
11. Преобразование солнечной энергии / Под редакцией Серафина Б.М., М.:Энергоиздат.– 1982. – С.106-150.
12. Энергетические ресурсы сквозь призму фотохимии и катализа / Под редакцией М.Гретцеля. М.:Мир.– 1986.– 632 с.

13. Yoon-Bong H. Next Generation Solar Cells. CRC Press. – 2023. – 300 p.
14. Nanostructured and Photoelectrochemical Systems for Solar photon conversion / Editors M. D.Archer, A.J.Nozik. Imperial College Press. London. Series on photoconversion of solar energy. Series Editor: Mary D. Archer (Cambridge, UK) – 2008. –Vol.3. –P.1-747.
15. Крюков А.И., Строюк А.Л., Кучмий С.Я., Походенко В.Д. Нанофотокатализ. К.- Академперіодика, – 2013. - 618 с.
16. Орешкин П.Т. Физика полупроводников и диэлектриков. М. : Высшая школа.– 1977. – 448 с.
17. Кулак А.И. Электрохимия полупроводниковых гетероструктур. Минск: Университетское. – 1986. – 191 с.
18. Хайрутдинов Р.Ф. Химия полупроводниковых наночастиц // Успехи химии. –1998. –Т.67. №2. –С.125-138.
19. Строюк А.Л., Крюков А.И., Кучмий С.Я., Походенко В.Д. Квантовые размерные эффекты в полупроводниковом фотокатализе // Теоретическая и экспериментальная химия. – 2005.–Т.41.№4. –С.199-215.
20. Петрий О.А., Лапа А.С. Электрохимия адатомных слоев // Итоги науки и техники, сер. «Электрохимия». 1987. Т.24. – С.94-153.
21. Eliaz N., Gileadi E. Physical Electrochemistry: Fundamentals, Techniques, and Applications, 2nd edition. Wiley-VCH, – 2019. – 480 p.
22. Jackowska K. Applied Electrochemistry. Berlin: De Gruyter. – 2020. – 360 p.
23. Yasin G., Ibraheem S., Kumar A., Nguyen T. A., Maiyalagan T. Electrochemistry and Photo-Electrochemistry of Nanomaterials. Elsevier, – 2024. – 600 p.
24. Ruzullo J. Guide to Characteristics and Characterization of Semiconductor Surfaces. World Scientific Publishing Company, – 2025. – 218 p.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Текущий контроль качества усвоения студентами знаний по данной учебной дисциплине может осуществляться с использованием следующих средств диагностики:

- собеседование;
- контрольный опрос;
- тесты;
- контрольная работа;

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Электрохимия и наноэлектрохимия полупроводников» учебным планом предусмотрен зачет

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы

Тема 3.1. Поглощение света полупроводниками. Разделение фотозарядов. (2ч.)

Решение задач:

1. Полупроводниковый CdS фотоэлектрод (ширина запрещенной зоны $E_g = 2,42$ эВ; уровень Ферми $E_F = -3,84$ эВ; дно зоны проводимости $E_c = -3,76$ эВ) погружен в водный электролит, содержащий 0,001 моль/л $K_4[Fe(CN)_6]$ и 0,001 моль/л $K_3[Fe(CN)_6]$. Поверхность фотоэлектрода освещается монохроматическим светом с длиной волны 465 нм и интенсивностью падающего излучения 2 мВт/см². При потенциале электрода +0,5 В (отн. насыщенного хлорсеребряного электрода сравнения – НХСЭ) в фотоэлектрохимической системе протекает фототок величиной 50 мкА/см². Рассчитайте:

- а. Квантовый выход фототока в данном фотоэлектрохимическом процессе;
- б. Величину фотопотенциала в условиях разомкнутой цепи;
- в. Потенциал (отн. НХСЭ), при котором начинается протекание фототока в данной фотоэлектрохимической системе;
- г. Скачок потенциала в области пространственного заряда (ОПЗ) при потенциале электрода +0,5 В;
- д. Энергии зон полупроводника: в состоянии разомкнутой цепи, при потенциале электрода +0,5 В, при потенциале плоских зон.

2. Рассчитайте концентрацию ионизованных доноров и потенциал плоских зон кремниевого электрода, погруженного в раствор электролита, если при потенциале 0 В ёмкость ОПЗ электрода составляет $3 \cdot 10^{-8}$ Ф/см² а при потенциале –0,1 В ёмкость ОПЗ электрода составляет $2 \cdot 10^{-8}$ Ф/см². Диэлектрическая проницаемость кремния $\epsilon = 12$, константа Больцмана $k_B = 8,6 \cdot 10^{-5}$ эВ/К.

Форма контроля – контрольная работа.

Тема 4.1. Принцип действия и основные характеристики фотоэлектрохимического элемента. (2 ч.)

Решение задач:

1. Полупроводниковый электрод TiO_2 находится в растворе, содержащем 1 mM I_2 , 1 mM KI и 1 M H_2SO_4 под внешней электрохимической поляризацией при потенциале 700 мВ (отн. стандартного водородного электрода). Окислительно-восстановительный потенциал редокс пары I_2/I^- в таком растворе составляет 0,5 В (отн. стандартного водородного электрода). Потенциал плоских зон TiO_2 в данном растворе составляет 200 мВ. Ширина запрещенной зоны TiO_2 равна 3,2 эВ. Энергетический зазор между уровнем Ферми F и дном зоны проводимости E_c TiO_2 составляет 0,1 эВ. При интенсивности падающего света $W = 55$ мВт/см² с длиной волны $\lambda = 365$ нм

величина анодного фототока составила 0,045 А при площади электрода 0,15 дм². При данной длине волны света 55% падающего излучения поглощается в полупроводнике, 25% поглощается в растворе, 5% отражается и 15% проходит полупроводник без поглощения. Какова величина квантового выхода фототока в данном случае? Изобразите зонную диаграмму TiO₂ в условиях описанной поляризации. Какая максимальная величина фотопотенциала возможна в данном растворе? Какая доля фотогенерированных носителей заряда претерпевает рекомбинацию?

Для расчета квантового выхода фототока воспользуйтесь формулой:

$$Y = \frac{i^{\text{ph}} \cdot 1240}{\lambda \cdot W}$$

где Y – квантовый выход фототока, W – интенсивность поглощенного света (Вт/м²), λ – длина волны падающего света (нм), i^{ph} – плотность фототока (А/м²).

Форма контроля – контрольная работа.

Примерная тематика семинарских занятий

Семинар № 1. Предмет и задачи электрохимии полупроводников. Природа скачков потенциала на границах раздела фаз. (2ч.)

1. Элементы зонной теории твердых тел. Валентная зона, зона проводимости, запрещенная зона. Донорные и акцепторные примеси. Уровень Ферми и функция Ферми. Равновесные концентрации носителей тока в полупроводниках n - и p -типа проводимости, собственных полупроводниках. Поверхностные электронные состояния.

2. Электрохимическое равновесие полупроводниковых электродов, металлов и электролитов. Энергия реорганизации. Область пространственного заряда (ОПЗ) в полупроводнике. Эффекты обусловленные пространственным зарядом. Дебаевская длина экранирования (L_D), ширина ОПЗ (L_{sc}) и потенциал плоских зон полупроводниковых электродов (E_{fb}). Факторы, определяющие эти величины. Построение энергетической диаграммы контакта полупроводник-электролит. Закрепление энергетических зон на поверхности полупроводниковых электродов.

3. Распределение скачка потенциала на гетерогранице полупроводник/электролит. Физическая и электрохимическая шкала энергий. Перенос зарядов из полупроводника на частицы, адсорбированные на поверхности в растворах электролитов. Флуктуирующие уровни энергии окислителей и восстановителей в полярной среде. Электрохимическая поляризация полупроводниковых электродов. Эффекты запираания (идеальной поляризуемости).

4. Уравнение Мотта-Шоттки. Определение потенциала плоских зон.

5. Поглощение света полупроводниками. Виды поглощения. Прямые и не прямые оптические.

Семинар № 2. Фотоэлектрохимия наноразмерных полупроводников. Механизм фотоэлектрохимических процессов в наноструктурированных системах. (2ч.)

1. Фотоэлектрохимические явления в полупроводниковых суспензиях. Зонные диаграммы полупроводниковых наночастиц. Определение положения энергетических зон полупроводниковых наночастиц.
2. Квантоворазмерные полупроводниковые частицы, особенности их кристаллической структуры. Боровский радиус экситона. Зонные диаграммы квантоворазмерных частиц, поглощение света. Эффективная масса носителей заряда.
3. Пространственное разделение фотозарядов в монокристаллических, плотных поликристаллических и пористых полупроводниковых электродах. Глубина проникновения света.
4. Хвосты состояний в запрещенной зоне. Аморфные полупроводники. Правило Урбаха. Эффекты светорассеяния.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются:

- **практико-ориентированный подход**, который предполагает:
 - освоение содержания образования через решения практических задач;
 - приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
 - ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
 - использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.
- **метод анализа конкретных ситуаций (кейс-метод)**, который предполагает:
 - приобретение студентом знаний и умений для решения практических задач;
 - анализ ситуации, используя профессиональные знания, собственный опыт, дополнительную литературу и иные источники

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

Для организации самостоятельной работы необходимо наличие методических указаний, электронных учебно-методических комплексов, в том числе представленных на образовательном портале, фондов оценочных средств, конкретных электронных информационных ресурсов, исходя из специфики организации самостоятельной работы по учебной дисциплине.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Электродвижущая сила электрохимической системы и электродный потенциал.
2. Термодинамическое описание электрохимического равновесия. Гальвани потенциал. Уравнение Нернста. Измерение электродных потенциалов.
3. Элементы зонной теории твердых тел. Валентная зона, зона проводимости, запрещенная зона.
4. Уровень Ферми и функция Ферми.
5. Поверхностные электронные состояния.
6. Равновесные концентрации носителей тока в полупроводниках *n*- и *p*-типа проводимости, собственных полупроводниках.
7. Распределение скачка потенциала на гетерогранице полупроводник/электролит.
8. Электрохимические эффекты, обусловленные пространственным зарядом.
9. Дебаевская длина экранирования (L_D) и ширина ОПЗ (L_{sc}) полупроводника.
10. Потенциал плоских зон полупроводниковых электродов (E_{fb}). Факторы, его определяющие.
11. Построение энергетической диаграммы контакта полупроводник-электролит.
12. Закрепление энергетических зон на поверхности полупроводниковых электродов.
13. Электрохимическое определение L_{sc} , E_{fb} и концентрации основных носителей тока.
14. Уравнение Мотта-Шоттки. Заряджение емкости двойного электрического слоя.
15. Эквивалентные электрические схемы для границы раздела полупроводник – раствор электролита.
16. Уравнение Гартнера.
17. Фототок и фотопотенциал.
18. Квантовый выход фототока.
19. Спектральная зависимость фототока и фотопотенциала.
20. Фотоэлектрохимическое определение типа проводимости полупроводника.
21. Фотоэлектрохимическое определение потенциала плоских зон полупроводника.
22. Фотоэлектрохимическое определение ширины запрещенной зоны полупроводника.
23. Фотоэлектрохимическое определение диффузионной длины неосновных носителей тока и концентрации основных носителей тока.
24. Фотоэлектрохимические процессы при фундаментальном и нефундаментальном поглощении света.
25. Спектральная сенсibilизация фотоэлектрохимических процессов красителями. Солнечные ячейки Гретцеля.

26. Фотоэлектрохимическая сенсibilизация примесями в полупроводнике.
27. Кинетический и термодинамический подход при рассмотрении фотокоррозионной проблемы.
28. Коррозионное поведение важнейших полупроводниковых электродов (оксидных, халькогенидных, $A^{III}B^V$, элементных и др.).
29. Фотоэлектрохимическое поведение анизотипных и изотипных гетеропереходов.
30. Механизм фотоэлектрохимических процессов в микрогетерогенных системах.
31. Электронные волновые функции в полупроводниковых кластерах (квантовых точках, наночастицах). Эффекты квантования.
32. Влияние размеров частиц полупроводника на оптические и фотоэлектрохимические свойства.
33. Основы методов приготовления микрогетерогенных систем.
34. Фотоэлектрохимические процессы в системе нанокристаллический полупроводниковый электрод / раствор электролита.
35. Классификация фотоэлектрохимических элементов для преобразования солнечной энергии.
36. Принцип действия элементов регенеративного типа.
37. Основные характеристики фотоэлектрохимического элемента.
38. Фотоэлектролиз воды и его основные проблемы. Фотостимулированный электролиз воды.
39. Фотоэлектрохимические системы с двумя полупроводниковыми электродами.
40. Электроосаждение пленок и наноструктур полупроводников. Выбор потенциалов и электролитов осаждения.
41. Использование подпотенциального осаждения атомных слоев элементов для электросинтеза полупроводниковых халькогенидов.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

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)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой
физической химии и электрохимии,
доктор химических наук, профессор

(подпись)

Е.А.Стрельцов

19.06.2025

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УО

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
