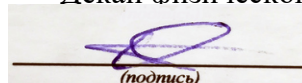


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Базовая кафедра нанотехнологий в электронике
В ЯФ ФГБУН «Физико-технологический институт» РАН

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



И.С. Огнев

«23» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины
«Физика поверхностных явлений»

Направление подготовки
11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль)
« Интегральная электроника и наноэлектроника »

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «30» марта 2023 г. протокол №8

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол №5 от «25» апреля 2023г.

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Физика поверхностных явлений» являются:

- ознакомление студентов со специфическими методами анализа поверхности, позволяющие получать информацию о химическом составе, структуре поверхностных слоев и электронных свойствах поверхности;
- рассмотрение поверхностных свойств твердого тела: движение электронов, движение атомов, адсорбция атомов и молекул.

2. Место дисциплины в структуре ОП бакалавриата

Дисциплина физика поверхностных явлений относится к вариативной части профессионального цикла.

Изучается после прохождения дисциплин математического и естественнонаучного цикла, а также после освоения основных дисциплин профессионального цикла. При изучении широко используются знания, умения и практические навыки указанных дисциплин.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП бакалавриата

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
Профессиональные компетенции		
ПК-2 Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	ИД_ПК-2.1. Знает методы разработки эффективных алгоритмов решения научно-исследовательских задач.	Знать: <ul style="list-style-type: none">– основные мотивы, побуждающие к исследованию поверхности;– принципы работы приборов дифракции медленных электронов, полевой ионной микроскопии, рассеяния медленных ионов, сканирующей туннельной микроскопии;– отличительные особенности кристаллической структуры поверхности и электронной структуры от объемных свойств твердого тела;
	ИД_ПК-2.2. Применяет алгоритмы решения исследовательских задач с использованием современных языков программирования.	Уметь: <ul style="list-style-type: none">– самостоятельно осваивать и грамотно применять результаты новых экспериментальных и теоретических исследований в области физики твёрдого тела и полупроводников;– самостоятельно выбирать методы и объекты исследований;
	ИД_ПК-2.3. Обладает навыками разработки стратегии и методологии исследования изделий микро- и наноэлектроники	Владеть: <ul style="list-style-type: none">– стандартной терминологией,

		<p>определениями и обозначениями;</p> <ul style="list-style-type: none"> – методами обоснованного выбора исследовательского оборудования, оценкой эффективности его работы и адекватности поставленной конкретной задаче; – анализом и оценкой полученных результатов и аргументацией для подтверждения сделанных на их основе выводов и принятых решений; – рациональными методами анализа и обработки научно-технической информации
--	--	--

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 акад. часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Введение. Задачи курса. Взаимодействие атомов в твёрдом теле. Явления на поверхности твёрдого тела	8	2					5	Фронтальный опрос
2	Химический состав поверхности. Методы анализа.	8	4		10	1		10	Фронтальный опрос
3	Структура поверхности. Поверхностные методы анализа структуры поверхности	8	4		10	1		10	Фронтальный опрос
4	Электронная структура поверхности	8	4			1		10	Фронтальный опрос
5	Движение атомов на поверхности.	8	2			1		10	Фронтальный опрос
6	Адсорбция атомов и молекул на поверхности	8	4			1		10	Фронтальный опрос
7	Лабораторные занятия	8			20				Защита отчетов по выполненным

									лабораторным работам
							0.3	28.7	Зачет
	Всего		20		20	3	0.3	28.7	

Содержание разделов дисциплины

1.Тема 1. Введение. Взаимодействие атомов в объеме и на поверхности твердого тела. Мотивы, побуждающие изучать поверхность: термоионная эмиссия, выращивание кристаллов, катализ, полупроводниковая граница раздела, тонкие пленки, молекулярно-лучевая эпитаксия. Экспериментальные методы анализа поверхности.

2. Тема 2.

Методы анализа химического состава поверхности: оже электронная спектроскопия (РЭОС). основные свойства РЭОС. Физические основы рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Вторично-ионная масс-спектрометрия (ВИМС). Сравнение ВИМС, РЭОС и РФЭС.

3.Тема 3.

Структура поверхности. Релаксация и реконструкция поверхности. Двумерные решетки Браве, описание структур верхних слоев поверхности. Методы анализа кристаллической структуры поверхности: дифракция медленных электронов (ДМЭ), полевая ионная микроскопия (ПИМ), сканирующая туннельная микроскопия (СТМ), рассеяние медленных ионов (РМИ). Примеры поверхностных структур.

4. Тема 4.

Электронная структура поверхности. Контактный потенциал и работа выхода. Измерение работы выхода. Поверхностные состояния и искривление зон. Измерение распределения плотности состояний электронов с помощью ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии (УФЭС). Плазмоны. Оптические свойства поверхности.

5. Тема 5.

Движение атомов на поверхности. Поверхностная динамика решетки: дефекты, домены, ступеньки. Поверхностная диффузия. Поверхностное плавление.

6. Тема 6.

Адсорбция атомов и молекул. Поверхностное натяжение, поверхностное натяжение и удельная свободная энергия поверхности. Адсорбционные процессы. Хемосорбция. Поверхностная сегрегация. Осаждение тонких пленок. Эпитаксиальный рост тонких плёнок Молекулярно-лучевая эпитаксия.

7. Тема 7.

Лабораторные занятия. Подготовка образцов для просвечивающей электронной микроскопии на установке. QUANTRA, Анализ структуры углеродных пленок на СТМ. Определение химического состава образцов на установке РЭОС.

5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Практическая реализация концепции проблемного обучения, которое представляет собой систему методов и средств обучения, направленных на моделирование реального творческого процесса путем создания проблемной ситуации и управления поиском решения проблемы. Усвоение новых знаний при этом происходит как самостоятельное открытие их студентами с помощью преподавателя. Использование образовательных Интернет-ресурсов.

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные

направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Лабораторное занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

На лабораторных занятиях студенты выполняют экспериментальные работы поставленные под руководством (контролем) преподавателя. Знакомятся с экспериментальными установками, проводят эксперименты, обрабатывают полученные результаты, оформляют в виде отчета и защищают их.

Консультации – групповые занятия, являющиеся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы, обсуждаются результаты решения заданий, выполненных студентами самостоятельно.

6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

– для формирования текстовых и графических материалов промежуточной и текущей аттестации – программы Microsoft Office, графический редактор Inkscape;

– для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ – Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" (АБИС "Буки-Next").

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

1. Праттон М. Введение в физику поверхности [Электронный ресурс] / М. Праттон. — Электрон. текстовые данные. — Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2000. — 254 с. — 5-93972-010-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17615.html>
2. Киселев В.Ф., Козлов С.Н., Зотеев А.В. Основы физики поверхности твердого тела М. Изд-во МГУ, физ. фак.-т 1999 284 с.
3. Д. Вудраф, Т. Делчар Современные методы исследования поверхности М. Мир 1989 568 с.

б) дополнительная литература:

4. Никитенков Н.Н. Основы анализа поверхности твердых тел методами атомной физики [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.Н. Никитенков. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский политехнический университет, 2013. — 203 с. — 978-5-4387-0349-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/34691.html>

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Федеральный портал «Информика» <http://www.informika.ru/> и его проекты

Сайт ЦКП «Диагностика микро и наноструктур» <http://www.nano.yar.ru>

Использование специализированного программного обеспечения не требуется

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной

аттестации;

- помещения для самостоятельной работы;

- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ.

Аудиторный фонд физического факультета.

Мультимедийный проектор.

Оборудование Центра коллективного пользования «Диагностика микро- и наноструктур»

Компьютерные классы с доступом в Интернет.

Библиотека университета.

Автор:

Профессор базовой кафедры
нанотехнологий в электронике, д.ф.-м.н.

должность, ученая степень

подпись

В.И. Бачурин

И.О. Фамилия

Приложение №1 к рабочей программе дисциплины «Физика поверхностных явлений»

Фонд оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов по дисциплине

1. Типовые контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе текущего контроля успеваемости

Вопросы к зачету в 8 семестре

1. Взаимодействие атомов в объеме и на поверхности твердого тела. Экспериментальные методы анализа поверхности.
2. Оже электронная спектроскопия (РЭОС). основные свойства РЭОС. Физические основы рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Вторично-ионная масс-спектрометрия (ВИМС). Сравнение ВИМС, РЭОС и РФЭС.
3. Методы анализа кристаллической структуры поверхности: дифракция медленных электронов (ДМЭ), полевая ионная микроскопия (ПИМ), сканирующая туннельная микроскопия (СТМ), рассеяние медленных ионов (РМИ)
4. Структура поверхности. Релаксация и реконструкция поверхности. Двумерные решетки Браве, описание структур верхних слоев поверхности.
5. Примеры поверхностных структур.
6. Электронная структура поверхности. Контактный потенциал и работа выхода. Измерение работы выхода.
7. Поверхностные состояния и искривление зон. Измерение распределения плотности состояний электронов с помощью ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии (УФЭС).
8. Спектроскопия одиночных атомов и СТМ.
9. Плазмоны. Оптические свойства поверхности.
10. Движение атомов на поверхности. Поверхностная динамика решетки: дефекты, домены, ступеньки.
11. Поверхностная диффузия. Поверхностное плавление.
12. Адсорбция атомов и молекул. Адсорбционные процессы.
13. Поверхностное натяжение, поверхностное натяжение и удельная свободная энергия поверхности.
14. Экспериментальное наблюдение хемосорбции.
15. Теория хемосорбции.
16. Поверхностная сегрегация.
17. Осаждение тонких пленок.
18. Эпитаксиальный рост тонких плёнок. Молекулярно-лучевая эпитаксия.

Правила выставления оценки на зачете

В билеты на зачет включается два теоретических вопроса. На подготовку к ответу дается не менее 1 часа.

По итогам зачета выставляется одна из оценок: «зачтено», «не зачтено».

Оценка «Зачтено» выставляется студенту, который демонстрирует глубокое и полное владение содержанием материала и понятийным аппаратом курса «Физические методы исследования микро- и наноструктур»; осуществляет межпредметные связи; умеет связывать теорию с практикой. Студент дает развернутые, полные и четкие ответы на

вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, соблюдает логическую последовательность при изложении материала.

Оценка «Не зачтено» выставляется студенту, который демонстрирует разрозненные, бессистемные знания; беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет выделять главное и второстепенное, не умеет соединять теоретические положения с практикой, не устанавливает межпредметные связи; допускает грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, явлений, вследствие непонимания их существенных и несущественных признаков и связей; дает неполные ответы, логика и последовательность изложения которых имеют существенные и принципиальные нарушения, в ответах отсутствуют выводы. Дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора не приводят к коррекции ответов студента. На основную часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Не зачтено» выставляется также студенту, который взял билет, но отвечать отказался.

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Физика поверхностных явлений»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на выполнение самостоятельной работы. В ходе лекций обучающимся рекомендуется:

- вести конспектирование учебного материала;
- обращать внимание на определения понятий, формулировки законов и их математическое выражение, положения, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации по их применению;
- задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений.

Для успешного овладения курсом необходимо посещать все лекции, так как тематический материал взаимосвязан между собой. В случаях пропуска занятия студенту необходимо самостоятельно изучить материал и ответить на контрольные вопросы по пропущенной теме во время индивидуальных консультаций. Следует помнить, что лекционный конспект является не материалом для подготовки, а скорее развернутым планом для дальнейшей самостоятельной проработки материала.

Практические занятия – это одна из активных форм учебного процесса. Большая часть тем дисциплины носит практический характер, т.е. предполагает решение задач, анализ практических ситуаций. При подготовке к практическим занятиям обучающемуся необходимо освоить теоретическую основу по теме практического занятия, быть готовым к дискуссионному обсуждению.

Индивидуальное домашнее задание или контрольная работа представляют собой изложение в письменном виде результатов теоретического анализа или решение задачи по определенной теме. При необходимости проводятся консультации по разбору заданий для самостоятельной работы, которые вызвали затруднения.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных практических навыков работы и проведения расчетов, в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде проверки выполнения заданий для внеаудиторного решения и контрольной работы.

Для самостоятельного подбора литературы в библиотеке ЯрГУ рекомендуется использовать:

1. Личный кабинет (http://lib.uniyl.ac.ru/opac/bk_login.php) дает возможность получения on-line доступа к списку выданной в автоматизированном режиме литературы, просмотра и копирования электронных версий изданий сотрудников университета (учеб. и метод. пособия, тексты лекций и т.д.) Для работы в «Личном кабинете» необходимо зайти на сайт Научной библиотеки ЯрГУ с любой точки, имеющей доступ в Internet, в пункт меню «Электронный каталог»; пройти процедуру авторизации, выбрав вкладку «Авторизация», и заполнить представленные поля информации.

2. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ (http://www.lib.uniyl.ac.ru/opac/bk_cat_find.php) содержит более 2500 полных текстов учебных и учебно-методических материалов по основным изучаемым дисциплинам, изданных в университете. Доступ в сети университета, либо по логину/пароллю.

3. Электронная картотека «Книгообеспеченность» (http://www.lib.uniyl.ac.ru/opac/bk_bookreq_find.php) раскрывает учебный фонд научной библиотеки ЯрГУ, предоставляет оперативную информацию о состоянии

книгообеспеченности дисциплин основной и дополнительной литературой, а также цикла дисциплин и специальностей. Электронная картотека [«Книгообеспеченность»](#) доступна в сети университета и через Личный кабинет.