ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий выпускающей кафедрой

Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП
Кому выдан: Воронцов А. Г.
Пользователь: vorontsovag
Дата подписания: 11.06.2024

А. Г. Воронцов

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.Ф.П0.14.01 Технологии вакуумного напыления
для направления 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
уровень Бакалавриат
профиль подготовки Наноэлектроника: проектирование, технология, применение
форма обучения очная
кафедра-разработчик Физика наноразмерных систем

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, утверждённым приказом Минобрнауки от 19.09.2017 № 927

Зав.кафедрой разработчика,
д.физ.-мат.н., доц.

Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП
Кому выдан: Воронцов А. Г.
Пользователь: vorontsovag
Дата подписания: 11.06.2024

А. Г. Воронцов

Разработчик программы,
к.физ.-мат.н., доцент

Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП
Кому выдан: Полевой Б. Г.
Пользователь: polevoibg
Дата подписания: 11.06.2024

Б. Г. Полевой

Челябинск

1. Цели и задачи дисциплины

Общей тенденцией развития электроники является предельная миниатюризация ее устройств, приборов и систем. Два десятка лет назад электроника первой преодолела нанометровый масштаб в создании своей элементной базы, а сейчас вплотную приблизилась к субнанометровому диапазону и атомному пределу. Уменьшение линейных размеров элемента ведет к увеличению доли поверхностных атомов и, соответственно, к тому, что эти атомы начинают играть определяющую роль в формировании свойств элемента. Это объясняет, почему знание строения и свойств поверхностей материалов становится одним из главных условий развития электроники в ее наноразмерной форме. Помимо этого, надо иметь ввиду, что почти все процессы формирования свойств материалов вообще и электронных материалов, в частности, начинаются на поверхности и идут через поверхность: выращивание кристаллов, их легирование, термообработка, имплантация, коррозия, растворение, сублимация, адсорбция и пр. Этими процессами надо управлять, если речь идет о создании материалов с заданными свойствами, или их контролировать, когда они идут самопроизвольно и ведут к деградации служебных свойств материалов. Перечисленные обстоятельства определяют роль и место дисциплины "Физика и диагностика поверхностей" в обучении специалистов по электронике и наноэлектронике. Целью изучения этой дисциплины является овладение: 1) базовыми представлениями, принципами и законами формирования структуры и свойств поверхностей твердых тел, и 2) основными методами инструментального контроля этих свойств и наблюдения структуры. Поставленная цель достигается решением следующих задач: 1) Освоение физических принципов, определяющих строение и свойства свободных поверхностей твердых тел. 2) Изучение механизмов взаимодействия поверхности материалов с окружением, ведущих к изменению свойств поверхности. 3) Изучение теоретических основ методов диагностики поверхностей и основанных на этих методах экспериментальных методик.

Краткое содержание дисциплины

На изучение курса "Физика и диагностика поверхностей" отводится 72 часа учебного времени. Курс состоит из трех частей - лекций (50% времени), практических занятий и семинаров (17%) и самостоятельной работы (27%), оставшееся время отводится на консультации и промежуточную аттестацию (зачет). По содержанию курс делится на два раздела - физика поверхностей и методы диагностики поверхностей. В каждом из разделов в настоящее время накоплен огромный объем знаний, который невозможно освоить ни в каком курсе конечной длины, тем более что этот объем стремительно растет. Достаточно сказать, что если три десятка лет назад количество только экспериментальных методик оценивалось числом 50, то сегодня оно выросло до 130. Поэтому в настоящем курсе рассматриваются только основные принципы формирования структуры и свойств поверхностей, методов их экспериментального исследования и типичные опытные данные. Это составит базу для более глубокого изучения предмета, если к нему возникнет интерес или заставит необходимость.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	Знает: сущность и значение физико-химических процессов на поверхности твердых тел для материалов, конструирования и технологии производства изделий микро- и наноэлектроники; методы экспериментальных исследований поверхностных структур и процессов Умеет: оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах наноэлектроники Имеет практический опыт: квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов электроники и наноэлектроники

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Статистическая физика, Введение в квантовую обработку информации, Схемотехника цифровых устройств, Уравнения математической физики, Вычислительная электродинамика, Физика конденсированного состояния, Компьютерные сети и системы, Введение в твердотельную электронику, Квантовая механика, Вычислительная математика, Программные системы инженерного анализа, Теория функций комплексного переменного, Производственная практика (ориентированная, цифровая) (4 семестр)	Не предусмотрены

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
Уравнения математической физики	Знает: принципы построения математических моделей на основе законов физики;основные методы решения уравнений математической физики Умеет: Имеет практический опыт:
Теория функций комплексного переменного	Знает: положения теории функций комплексного переменного, необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Умеет: Имеет практический опыт:
Вычислительная математика	Знает: алгоритмы вычислительной математики необходимые для построения физических и

	математических модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Умеет: Имеет практический опыт:
Введение в квантовую обработку информации	Знает: принципы и алгоритмы квантовой обработки информации; принципы работы квантовых компьютеров Умеет: Имеет практический опыт:
Статистическая физика	Знает: положения статистической физики, необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Умеет: на основе атомистических моделей вычислять основные макроскопические характеристики (структурные, электрические и магнитные) конденсированных тел на основе методов статистической физики Имеет практический опыт:
Компьютерные сети и системы	Знает: принципы проектирования и настройки компьютерных сетей и систем Умеет: Имеет практический опыт:
Программные системы инженерного анализа	Знает: Умеет: строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Имеет практический опыт: компьютерного моделирования моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения
Введение в твердотельную электронику	Знает: Умеет: строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков твердотельной электроники Имеет практический опыт:
Физика конденсированного состояния	Знает: положения теорий, описывающих атомную структуру, электрические и магнитные свойства тел в конденсированном состоянии Умеет: строить упрощенные модели структурных, электрических и магнитных свойств конденсированных тел с использованием математического аппарата квантовой и классической физики Имеет практический опыт:
Квантовая механика	Знает: положения квантовой механики, необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Умеет: Имеет практический опыт:
Вычислительная электродинамика	Знает: положения вычислительной электродинамики, необходимые для построения физических и математических модели моделей, узлов, блоков электроники и наноэлектроники различного функционального назначения Умеет: Имеет практический опыт:
Схемотехника цифровых устройств	Знает: схемотехнические решения цифровых устройств; основные узлы и блоки цифровых

	электронных устройств Умеет: Имеет практический опыт:
Производственная практика (ориентированная, цифровая) (4 семестр)	Знает: Умеет: использовать программное обеспечение в учебной и научно-исследовательской деятельности; решать задачи обработки данных Имеет практический опыт: самостоятельного написания компьютерных программ

4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 ч., 40,25 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		8
Общая трудоёмкость дисциплины	72	72
Аудиторные занятия:	36	36
Лекции (Л)	24	24
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	12	12
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
Самостоятельная работа (СРС)	31,75	31,75
Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе 1 по теме "Зондирование поверхности пучками электронов"	6	6
Подготовка к практическим занятиям по теме "Сканирующая зондовая микроскопия"	6	6
Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе 1 по теме "Зондирование поверхности ионными пучками"	6	6
Подготовка к промежуточной аттестации (зачет)	7,75	7.75
Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе 3 по теме "Зондирование поверхности пучками фотонов"	6	6
Консультации и промежуточная аттестация	4,25	4,25
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет

5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Физика поверхности и методы диагностики	36	24	12	0

5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Введение. Предмет и задачи физики поверхности. Вакуум и его характеристики. Материалы и конструкция оборудования. Химический	2

		анализ остаточного газа.	
2	1	Атомные столкновения и спектрометрия обратного рассеяния. Кинематика упругих столкновений. Сечение рассеяния в задаче двух тел с центральным взаимодействием. Формула Резерфорда и отклонения от нее при низких и высоких энергиях. Рассеяние ионов низких энергий (LEIS). Спектрометрия атомов отдачи, вылетающих вперед.	2
3	1	Потери энергии легких ионов и получение распределений по глубине с помощью обратного рассеяния. Потери энергии легких ионов высоких энергий в твердых телах. Потери энергии в химических соединениях и правило Брэгга. Ширина спектра энергии в обратном рассеянии. Форма спектра обратного рассеяния. Получение распределений по глубине с помощью рассеяния Резерфорда.	2
4	1	Атомная структура твердых тел и их поверхностей. Решетка и обратная решетка в 3D и 2D случаях. Электронные состояния. Квантово-механическое рассмотрение свободных и независимых электронов. Электроны в периодическом потенциале. Металлы и полупроводники. Электронная структура поверхностей. Колебания решетки в гармоническом приближении. Фононы. Поверхностные колебания.	2
5	1	Электронная спектроскопия. Длина свободного пробега электрона. Источники и анализаторы электронов. Электроны в твердых телах: упругое и неупругое рассеяние. Диэлектрическая функция. Фононы. Экситоны. Межзонные переходы. Объемные и поверхностные плазмоны. Остовные уровни.	2
6	1	Очистка поверхности и химический анализ. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Источники рентгеновского излучения. Сечения РФЭС. Качественный анализ: типичные спектры. Энергии связи в XPS. Оже-электронная спектроскопия (ОЭС), экспериментальное оборудование. Качественный анализ: типичные спектры. Количественный анализ.	2
7	1	Адсорбция, десорбция и химические реакции. Физисорбция. Хемосорбция. Взаимодействие адсорбатов. Кинетика процессов адсорбции и десорбция. Адсорбционно-десорбционное равновесие. Монокристаллическая адсорбционная калориметрия. Химические реакции и катализ.	2
8	1	Структура поверхности. Термодинамика поверхности и общая форма кристалла. Геометрия поверхности: усеченный объем, релаксация, реконструкция, дефекты и сверхрешетки. Дифракция электронов низких энергий (ДМЭ-LEED), картины ДМЭ и количественное определение структуры. Инструменты, Дифрактограммы и их анализ. Интерпретация моделей ДМЭ, примеры определения структуры LEED.	3
9	1	Протяженная тонкая структура поглощения рентгеновских лучей (EXAFS) и поверхностный EXAFS (SEXAFS). Дифракция фотоэлектронов (PhD, PED), простая теория, типичные примеры.	2
10	1	Сканирующая зондовая микроскопия, принципы действия и экспериментальные установки. Очистка металлических поверхностей. Адсорбаты на металлических поверхностях. Адсорбат-индуцированная реконструкция металлических поверхностей. Поверхности полупроводников и изоляторов.	3
11	1	Электронная структура поверхностей. Работа выхода. Электронные поверхностные состояния. Фотоэмиссионная спектроскопия поверхностей с угловым разрешением (ARPES). Сканирующая туннельная спектроскопия.	2

5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во

			часов
1	1	Зондирование поверхности ионными пучками. Кинематика двухчастичных столкновений. Сечение рассеяния. Формула Резерфорда. Кулоновское рассеяние. Рассеяние ионов низких энергий. Спектрометрия атомов отдачи.	4
2	1	Зондирование поверхности пучками электронов. Упругое и неупругое рассеяние. Дифракция медленных электронов.	4
3	1	Зондирование поверхности фотонными пучками. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС). Оже-электронная спектроскопия (ОЭС). Протяженная тонкая структура поглощения рентгеновских лучей (EXAFS) и поверхностный EXAFS (SEXAFS). Оптическая и зондовая сканирующая микроскопия.	4

5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе 1 по теме "Зондирование поверхности пучками электронов"	М. В. Мамонова, В. В. Прудников, И. А. Прудникова. Физика поверхности. Теоретические модели и экспериментальные методы (2011): Гл. 2, п. 2.1.1, 2.1.2. с. 52-58; https://e.lanbook.com/book/59605 Корнилов, В. М. Физика, химия и диагностика поверхности : учебное пособие (2013): с. 33-36; https://e.lanbook.com/book/43260	8	6
Подготовка к практическим занятиям по теме "Сканирующая зондовая микроскопия"	В. И. Марголин, В. А. Жабрев, Г. Н. Лукьянов, В. А. Тупик. Введение в нанотехнологию : учебник (2021): Гл. 7, п. 7.8, с. 371-379; https://e.lanbook.com/book/168460 М. В. Мамонова, В. В. Прудников, И. А. Прудникова. Физика поверхности. Теоретические модели и экспериментальные методы (2011): Гл. 2, п. 2.1.7, с. 72-80; https://e.lanbook.com/book/59605	8	6
Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе 1 по теме "Зондирование поверхности ионными пучками"	М. В. Мамонова, В. В. Прудников, И. А. Прудникова. Физика поверхности. Теоретические модели и экспериментальные методы (2011): Гл. 2, п. 2.1.5, с. 61-67; https://e.lanbook.com/book/59605 В. И. Марголин, В. А. Жабрев, Г. Н. Лукьянов, В. А. Тупик. Введение в нанотехнологию : учебник (2021): Гл. 7, п. 7.6-7.7, с. 357-362; https://e.lanbook.com/book/168460 Зондирование поверхности ионными	8	6

	пучками - методическое пособие каф. ФНС, с. 2-31, электронный ресурс (см. Информационное обеспечение курса)		
Подготовка к промежуточной аттестации (зачет)	См. литературу, указанную для подготовки к практическим занятиям и контрольным работам.	8	7,75
Подготовка к практическим занятиям и контрольной работе 3 по теме "Зондирование поверхности пучками фотонов"	М. В. Мамонова, В. В. Прудников, И. А. Прудникова. Физика поверхности. Теоретические модели и экспериментальные методы (2011): Гл. 2, п. 2.2.1-2.2.2 с. 80-84; https://e.lanbook.com/book/59605 В. И. Марголин, В. А. Жабрев, Г. Н. Лукьянов, В. А. Тупик. Введение в нанотехнологию : учебник (2021): Гл. 7, п. 7.3-7.4, с. 340-350; https://e.lanbook.com/book/168460	8	6

6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учи-тыва-ется в ПА
1	8	Текущий контроль	Контрольная работа 1	1	15	Контрольная работа 1 проводится по теме "Зондирование поверхности ионными пучками" в письменной форме во время аудиторных занятий, длительность до 30 минут. В контрольной работе содержится 3 задачи. Решение каждой задачи оценивается максимум в 5 баллов. Максимальная оценка за решение задачи ставится при условии, что решение: 1) правильное, 2) полное, 3) изложено в логической последовательности, 4) написано грамотно, 5) оформлено аккуратно. Если решение неправильное или отсутствует - оно оценивается в 0 баллов. За недостатки, указанные в п. 2)-5) оценка может быть снижена на 1-2 балла. Итоговая оценка (в баллах) получается суммированием баллов, полученных за каждую задачу. Максимальная оценка за контрольную работу в целом составляет 15 баллов.	зачет
2	8	Текущий контроль	Контрольная работа 2	1	15	Контрольная работа 2 проводится по теме "Зондирование поверхности пучками электронов" в письменной форме во время аудиторных занятий, длительность до 30 минут. В контрольной работе содержится 3	зачет

						задачи. Порядок начисления баллов за контрольную работу 2 тот же, что и за контрольную работу 1.	
3	8	Текущий контроль	Контрольная работа 3	1	15	Контрольная работа 3 проводится по теме "Зондирование поверхности пучками фотонов" в письменной форме во время аудиторных занятий, длительность до 30 минут. В контрольной работе содержится 3 задачи. Порядок начисления баллов за контрольную работу 3 тот же, что и за контрольную работу 1.	зачет
4	8	Проме-жуточная аттестация	Зачет	-	15	Билет содержит 3 задачи. Решение каждой задачи оценивается максимум в 5 баллов. Максимальная оценка за решение задачи ставится при условии, что решение: 1) правильное, 2) полное, 3) изложено в логической последовательности, 4) написано грамотно, 5) оформлено аккуратно. Если решение неправильное или отсутствует - оно оценивается в 0 баллов. За недостатки, указанные в п. 2)-5) оценка может быть снижена на 1-2 балла. Итоговая оценка (в баллах) получается суммированием баллов, полученных за каждую задачу.	зачет

6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
зачет	Контрольное мероприятие промежуточной аттестации не является обязательным. Итоговая оценка по дисциплине может быть выставлена по результатам текущего контроля. Студент может повысить свой рейтинг, пройдя контрольное мероприятие промежуточной аттестации, которое проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит три задачи. Время на выполнение: 30 минут.	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ			
		1	2	3	4
ПК-1	Знает: сущность и значение физико-химических процессов на поверхности твердых тел для материалов, конструирования и технологии производства изделий микро- и наноэлектроники; методы экспериментальных исследований поверхностных структур и процессов	+	+	+	+
ПК-1	Умеет: оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах наноэлектроники	+	+	+	+
ПК-1	Имеет практический опыт: квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов электроники и наноэлектроники	+	+	+	+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:

Не предусмотрена

б) дополнительная литература:

Не предусмотрена

в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

1. Surface science [Текст] A joural devoted to the physics and chemistry of interfaces журнал. - , 2001-

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Методические рекомендации

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Методические рекомендации

Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Владимиров, Г. Г. Физика поверхности твердых тел : учебное пособие / Г. Г. Владимиров. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 352 с. — ISBN 978-5-8114-1997-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. https://e.lanbook.com/book/168884 — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Мамонова, М. В. Физика поверхности. Теоретические модели и экспериментальные методы : монография / М. В. Мамонова, В. В. Прудников, И. А. Прудникова. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2011. — 400 с. — ISBN 978-5-9221-1236-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/59605 (дата обращения: 05.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Корнилов, В. М. Основы сканирующей зондовой микроскопии: метод. указания : учебное пособие / В. М. Корнилов, А. Ф. Галиев. — Уфа : БГПУ имени М. Акмуллы, 2011. — 24 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. https://e.lanbook.com/book/43260 — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система	Николичев, Д. Е. Локальная диагностика состава полупроводниковых наносистем методом сканирующей оже-микроскопии : учебно-методическое пособие / Д. Е.

		издательства Лань	Николичев, А. В. Боряков. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2011. — 110 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. https://e.lanbook.com/book/153530 — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Корнилов, В. М. Физика, химия и диагностика поверхности : учебное пособие / В. М. Корнилов. — Уфа : БГПУ имени М. Акмуллы, 2013. — 44 с. — ISBN 978-5-87978-649-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. https://e.lanbook.com/book/42378 — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Владимиров, Г. Г. Физическая электроника. Эмиссия и взаимодействие частиц с твердым телом : учебное пособие / Г. Г. Владимиров. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 368 с. — ISBN 978-5-8114-1515-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. https://e.lanbook.com/book/38838 — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Ищенко, А. А. Дифракция электронов: структура и динамика свободных молекул и конденсированного состояния вещества / А. А. Ищенко, Г. В. Гиричев, Ю. И. Тарасов. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2013. — 612 с. — ISBN 978-5-9221-1447-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. https://e.lanbook.com/book/48303 — Режим доступа: для авториз. пользователей.
8	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Шестак, В. П. Вакуумная техника. Концепция разреженного газа : учебное пособие / В. П. Шестак. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2012. — 272 с. — ISBN 978-5-7262-1585-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. https://e.lanbook.com/book/75958 — Режим доступа: для авториз. пользователей.
14	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Введение в нанотехнологию : учебник / В. И. Марголин, В. А. Жабрев, Г. Н. Лукьянов, В. А. Тупик. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 464 с. — ISBN 978-5-8114-1318-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. https://e.lanbook.com/book/168460 Режим доступа: для авториз. пользователей.

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Windows(бессрочно)
2. Microsoft-Office(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

1. -The Cambridge Cristallographic Data Centre(31.12.2023)

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий

Лекции	447 (1)	Мультимедийный проектор