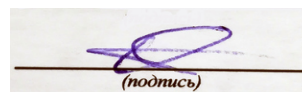


**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова**

Кафедра микроэлектроники и общей физики

**УТВЕРЖДАЮ**

Декан физического факультета



(подпись)

И.С. Огнев

23 мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Диагностика вакуума и плазмы»**

Направление подготовки  
11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль)  
«Интегральная электроника и наноэлектроника»

Форма обучения  
очная

Программа одобрена  
на заседании кафедры  
от «17» апреля 2023 года, протокол № 5

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

Ярославль

### 1. Цели освоения дисциплины «Диагностика вакуума и плазмы»

Описать физические основы действия вакуумных измерительных приборов и установок по созданию вакуума. Познакомить с методами исследования нейтральных разреженных газов и плазмы. Обучить работе с вакуумной техникой, методике обработки опытных данных в системе MathCAD.

### 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Диагностика вакуума и плазмы» относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, и является дисциплиной по выбору. Она знакомит учащихся с теорией и экспериментальными методами исследования свойств разреженных газов и плазмы в природных и технологических процессах. Сообщает им навыки работы с вакуумной техникой. Развивает аналитические способности учащихся, навыки решения расчетных и экспериментальных задач в данной предметной области.

Данная дисциплина базируется на знаниях, полученных студентами при изучении общего курса физики (предметы «Молекулярная физика», «Электричество», «Атомная физика»), и навыках, приобретённых при прохождении общего физического практикума. Для её освоения требуется также математическая подготовка по предметам: «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения».

Дисциплина «Диагностика вакуума и плазмы» следует за изучением таких предметов как «Физика конденсированного состояния», «Термодинамика и статистическая физика», «Статистическая обработка экспериментальных данных». Её знания применяются при выполнении курсовых и выпускных работ.

### 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
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>		
<b>ПК-2</b> Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику	<b>ИД_ПК-2.1</b> Знает методы и методики проведения исследований параметров и характеристик электронных приборов и схем.	<b>Знает:</b> – закономерности вакуумных явлений, – виды манометров и вакуумных установок, – режимы работы и динамические характеристики вакуумных установок, – общие свойства плазмы.

экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения.	<b>ИД_ПК-2.2</b> Демонстрирует навыки экспериментального определения характеристик устройств электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения.	<b>Умеет:</b> – находить функциональные характеристики вакуумной системы по кривым откачки, – производить зондовую диагностику плазмы. <b>Владеет:</b> – методикой и техникой вакуумных измерений, – специальными компьютерными программами обработки опытных данных.
---	--	--

#### 4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 72 часа, 2 зачетные единицы.

№ 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)
			Лекции	практические	лабораторные	Консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
			<b>Контактная работа</b>						
1	Взаимодействие нейтральных газов с твёрдыми телами	8	2		4	1		5	Лабораторная работа №1
2	Вакуумные измерения	8	4		4			5	Лабораторная работа №2
3	Функциональные характеристики вакуумных систем	8	4		4	1		5	Лабораторная работа №3
4	Общие сведения о плазме	8	6		4			5	
5	Зондовая диагностика плазмы	8	4		4	1		8,7	Лабораторная работа №4
							0,3		Зачёт
	Всего		20		20	3	0,3	28,7	72

#### Содержание разделов дисциплины:

1. Взаимодействие нейтральных газов с твёрдыми телами. Сорбция, десорбция, диффузия. Проницаемость материалов. Задача об абсолютном манометре Кнудсена.
2. Вакуумные измерения. Манометры прямого действия: жидкостные, деформационные, компрессионные. Тепловые вакуумметры и их манометрические преобразователи. Измерительные режимы. Ионизационные вакуумметры: с термокатодом и магнитные электроразрядные. Анализ ограничений измерительного диапазона.
3. Функциональные характеристики вакуумной системы. Основное уравнение вакуумной техники. Пропускная способность вакуумной магистрали при вязкостном,

турбулентном и молекулярном режимах течения газа. Задачи на расчет процесса откачки рабочей камеры. Условие квазистационарности процесса.

4. Общие сведения о плазме. Квазинейтральность и разделение зарядов в плазме. Электростатическое экранирование точечного заряда. Плазменные колебания. Столкновения частиц и электрический ток в плазме. Кинетические процессы в плазме. Взаимодействие плазмы с поверхностью твёрдых тел.

5. Зондовая диагностика плазмы. Вольт-амперная характеристика одиночного зонда. Определение параметров плазмы по простейшим формулам Лэнгмюра. Метод двойного зонда. Представление о предслое. Формула Бома для ионного тока насыщения. Усовершенствованная теория электрического зонда, пределы применимости, источники ошибок.

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

Учебный процесс сочетает лекционные и лабораторные занятия, которые выполняются на базе имеющихся экспериментальных установок с применением компьютерных программ обработки результатов измерений. На лекционных занятиях отслеживается ведение конспектов лекций. Ведётся учёт выданных заданий, контроль посещаемости. Зачёт проставляется по совокупности выполненных лабораторных работ и решённых задач в ходе собеседования по предмету.

Учитывая сравнительно небольшое количество лекционных часов, значительная часть теоретического материала выносится на самостоятельное изучение по приведённому ниже списку литературы. Упор делается на практическую составляющую предмета, основательно представленную в оригинальном лабораторном практикуме.

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

Информация по содержанию предмета выкладывается на платформе Moodle ЯрГУ в 8-м семестре в соответствующем курсе. Там в виде файлов должны быть выложены описания лабораторных работ, научные статьи, другие материалы по темам предмета и открыты папки для сдачи отчётов по выполненным лабораторным работам. Платформа Moodle используется в качестве доски объявлений и как организующее начало в учебном процессе. При дистанционном обучении лекции ведутся в Zoom`е, обсуждение и сдача выданных заданий (лабораторных работ) в Скайпе.

Из других технических средств в учебном процессе используются:

- для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ – Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" [http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php);
- для формирования текстов материалов для промежуточной и конечной аттестации – программы Microsoft Office;
- для обработки данных измерений *MathCad 2001 portable*.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) основная литература:**

1. Пипко А.И., Плисковский В.Я., Королев Б.И., Кузнецов В.И. Основы вакуумной техники. - М: Энергоиздат, 1981.
2. Востров Г.А., Розанов Л.Н. Вакуумметры. – Л.: Машиностроение, 1967.
3. Глазков А.А., Малышев И.Ф., Саксаганский Г.Л. Вакуумные системы электрофизических установок. – М.: Атомиздат, 1975
4. Глазков А.А., Милованова Р.А. Учебная лаборатория вакуумной техники. М.: Атомиздат, 1971.

5. Лабораторные занятия по физике: Учебное пособие. Под ред. Гольдина Л. Л. – М.: Наука, 1983, п. 3.3, 3.10, 3.11.
6. Арцимович Л.А. Что каждый физик должен знать о плазме. – М.: Атомиздат, 1976.
7. Арцимович Л.А. Избранные труды. Атомная физика и физика плазмы. – М.: Наука, 1978.
8. Швилкин Б.Н. Мискинова Н.А. Физическая электроника в задачах. – М.: Наука, 1987.

**б) дополнительная:**

1. Грошковский Я. Техника вакуума. – М.: Изд-во иностр. лит., 1975.
2. Дэшман С. Научные основы вакуумной техники. – М.: Мир, 1964.
3. Ленард, Холдстон. Диагностика плазмы. – М.: Мир, 1967.
4. Каган Ю.М., Перель В.И. Зондовые методы исследования плазмы. – Успехи физических наук. № 81, вып. 3, 1963.

**8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает:

- учебную аудиторию для проведения занятий лекционного типа;
- лабораторию молекулярной физики, где поставлен вакуумный практикум.

Автор: доцент кафедры микроэлектроники  
и общей физики, канд.физ.-мат.наук

В.А. Митрофанов

**Приложение №1**

**к рабочей программе дисциплины «Диагностика вакуума и плазмы»**

**Фонд оценочных средств  
для проведения текущего контроля успеваемости  
и промежуточной аттестации студентов по дисциплине**

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

В ходе выполнения лабораторных работ по нижеследующему списку студенты отвечают на содержащиеся в их описаниях контрольные вопросы. Их можно также найти в практикумах [4], [5] списка а) основной литературы.

**Список лабораторных работ**

1. Исследование особенностей теплопередачи в разреженном газе.
2. Изучение функциональных характеристик вакуумной системы.
3. Изучение процесса электрооткачки в ионизационном манометре.
4. Определение параметров плазмы газового разряда методом зондов.

**2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной  
и окончательной аттестации**

При сдаче (защите отчётов) персонально выданных лабораторных работ помимо контрольных вопросов из практикумов [4], [5] списка а) основной литературы студентам задаются вопросы, касающиеся физики исследуемых явлений, организации самого эксперимента и методов обработки данных измерений. Тем самым проверяется сформированность компетенции ПК-2 по индикатору ИД\_ПК-2.2 в расшифровке автора программы «**Умеет** находить функциональные характеристики вакуумной системы по кривым откачки, производить зондовую диагностику плазмы» и «**Владеет** методикой и техникой вакуумных измерений, специальными компьютерными программами обработки опытных данных».

На зачете (список его вопросов даётся ниже) проверяется сформированность компетенции ПК-2 по индикатору ИД\_ПК-2.1 в расшифровке автора программы «**Знает** закономерности вакуумных явлений, виды манометров и вакуумных установок, режимы работы и динамические характеристики вакуумных установок, общие свойства плазмы».

#### **Список вопросов к зачёту:**

1. Общая классификация вакуумметров. Манометры прямого действия.
2. Тепловые вакуумметры: измерительные режимы.
3. Ионизационные вакуумметры; физические особенности.
4. Основное уравнение вакуумной техники. Пропускная способность вакуумной магистрали при разных режимах течения газа.
5. Задачи о расчете времени откачки камеры. Условие квазистационарности процесса.
6. Задача об абсолютном манометре Кнудсена.
7. Квазинейтральность и разделение зарядов в плазме. Электростатическое экранирование точечного заряда.
8. Плазменные колебания. Столкновения частиц и электрический ток в плазме.
9. Вольт-амперная характеристика одиночного зонда. Определение параметров плазмы по простейшим формулам Лэнгмюра.
10. Определение параметров плазмы методом двойного зонда.
11. Усовершенствование теории электрического зонда Бомом и Тонксом. Формула для ионного тока насыщения.
12. Общая формула для электронного тока на одиночный зонд.

## **Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Диагностика вакуума и плазмы»**

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Не следует пропускать лекций без уважительных причин. Их конспект следует вести, чтобы понимать логику построения курса в его взаимосвязях. Не надеяться на то, что потом (перед зачётом) всё можно будет прочесть. Здесь важна регулярность занятий. Полезно сразу сверять лекционный материал с содержанием соответствующих глав учебников, как бы этого не хотелось делать. Не следует также копить долги по практикуму: выполнению лабораторных заданий и защите их результатов.

Общие требования и рекомендации по выполнению лабораторных работ и оформлению отчётов сформулированы на стенде лаборатории молекулярной физике, где и организован вакуумный практикум.