



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра общей и космической физики



Рабочая программа дисциплины (модуля)

Наименование дисциплины (модуля): Б1.О.26.03 Методы обработки поверхности
твёрдого тела

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и микроэлектроника

Направленность (профиль) подготовки: Электроника и микроэлектроника

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Согласовано с УМК:

физического факультета

Протокол № 49 от «26» марта 2025 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор

 Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:

общей и космической физики

Протокол № 8

от «24» марта 2025 г.

Зав.кафедрой д.ф.-м.н., профессор

 Паперный В.Л.

Иркутск 2025 г.

Содержание

I. Цели и задачи дисциплины (модуля)	3
II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП.....	3
III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)	3
IV. Содержание и структура дисциплины	4
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов.....	5
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	6
4.3. Содержание учебного материала	7
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ	7
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)	7
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	8
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии).....	8
V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)	9
а) <i>основная литература</i>	9
<i>дополнительная литература</i>	9
б) <i>периодические издания</i>	10
в) <i>список авторских методических разработок</i>	10
г) <i>базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i>	10
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)	10
6.1. Учебно-лабораторное оборудование:	10
6.2. Программное обеспечение:	10
6.3. Технические и электронные средства:	11
VII. Образовательные технологии.....	11
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации.....	12
8.1. Оценочные материалы (ОМ).....	12

I. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Цель программы – сформировать у студентов практические навыки получения и обработки поверхности материалов, применяемых в производстве наноматериалов, компонентов наноэлектроники, микро- и наносистемной техники.

Задачи курса: изучение основных технологических процессов, с помощью которых в настоящее время создаются наноразмерные элементы и структуры, а также представление о наиболее эффективных методах контроля параметров и свойств формируемых наноразмерных объектов. Кроме того, студенты обучаются навыкам работы с соответствующим оборудованием на практических и лабораторных занятиях.

II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина « Методы обработки поверхности твердого тела» относится к обязательной части базового блока Б1.

Данная дисциплина опирается на знания, полученные по следующим дисциплинам: «Математический анализ», «Атомная физика», «Теоретическая физика», «Ядерная физика».

Практические работы в лаборатории позволяют студентам приобрести первоначальный опыт самостоятельной работы над научными проблемами.

III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

Процесс изучения данной дисциплины направлен на формирование следующих **компетенций**:

- Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности (ОПК-1).

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ОПК-1	ИДК ОПК1.2	<u>Знать:</u> • способы получения и измерения вакуума; • основные методы создания центров окраски в оптических материалах; • способы и технологии получения наночастиц в тонких пленках; • принципы очистки и модификации различных поверхностей, в том числе методом плазмохимического травления. <u>Уметь:</u> • самостоятельно анализировать и оценивать факты, явления и события; • осуществлять поиск и обработку актуальной информации в ЭБС и периодических изданиях и выявлять современные тенденции в развитии элементной базы электроники; • применять методы и средства измерения физических величин; • оценивать характер и направление влияния внешних факторов на скорость и другие параметры технологических процессов плазменной обработки материалов. <u>Иметь представление:</u> • о научно-технической лексике (терминологии), взаимосвязи между составом, структурой и

		комплексом свойств материалов, определяющих их применение. <u>Владеть:</u> • навыками выбора методов и условий обработки материалов различной природы; • навыками анализа взаимосвязи технологических режимов и качества обработки.
--	--	--

IV. Содержание и структура дисциплины

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часов, из них 58 – контактная работа.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭлИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

Из них 24 часов – практическая подготовка

Форма промежуточной аттестации: зачёт

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа	
					Лекции и	Семинарские /практические /лабораторные занятия	Консультации		
1	Раздел 1. Методы получения и измерения вакуума	7	18	6		12		6	отчёт, защита отчёта
2	Раздел 2. Центры окраски в оптических средах	7	16	6		12		4	отчёт, защита отчёта
3	Раздел 3. Плазменные технологии в нанoeлектронике.	7	16	6		12		4	отчёт, защита отчёта
4	Раздел 4. Технология плазмохимической очистки и травления материалов.	7	18	6		14		4	отчёт, защита отчёта
	КОНТРОЛЬ		8						
Итого часов			72	24		50		14	зачёт

4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
7	Оформление отчётов по лабораторным работам	Обработка полученных экспериментальных данных, анализ результатов	В течение семестра	12	Отчёт	[1-2]
7	Подготовка к защите отчётов	Формулирование выводов по результатам работы. Работа с методическим материалом к каждой работе	В течение семестра	2	Собеседование	[1-2]
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				14		

4.3. Содержание учебного материала

Раздел 1. Методы получения и измерения вакуума.

- 1.1. Теоретические основы.
- 1.2. Процессы откачки.
- 1.3. Техника получения вакуума.
- 1.4. Техника измерения давления разряженных газов.

Раздел 2. Центры окраски в оптических средах

- 2.1. Точечные дефекты в кристаллах.
- 2.2. Классификация центров окраски.
- 2.3. Методы получения точечных дефектов.
- 2.4. Применение кристаллов с центрами окраски в науке и технике.

Раздел 3. Плазменные технологии в нанoeлектронике.

- 3.1. Наноразмерные объекты.
- 3.2. Способы получения наночастиц.
- 3.3. Наноструктурные плёнки.

Раздел 4. Технология плазмохимической очистки и травления материалов.

- 4.1. Классификация процессов плазмохимического травления и очистки.
- 4.2. Механизм процесса плазмохимического травления.
- 4.3. Равномерность плазмохимического травления.
- 4.4. Технологические газы для плазмохимического травления
- 4.5. Методы исследования обрабатываемой поверхности.

4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	1.1-1.5	Методы получения и измерения вакуума	12	Отчёт	ОПК1
2.	2.3-2.4	Центры окраски в оптических средах	12	Отчёт	
3.	3.3-3.4	Плазменные технологии в нанoeлектронике	12	Отчёт	
4.	4.3	Технология плазмохимической очистки и травления материалов	14	Отчёт	

4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1.	Разделы 1-4	Аудиторная	Изучить теоретическую часть лабораторной работы	Методическое описание, авторское пособие [1]	1
2.	Разделы 1-4	Аудиторная	Изучить описание стенда, ход выполнения работы. Подключить	Методическое описание, авторское пособие [1]	1

			приборы собрать схему (при необходимости). Подготовить к началу эксперимента		
3.	Разделы 1-4	Аудиторная	Провести эксперимент. Обработать экспериментальные данные.	Методическое описание, авторское пособие [1]	4
4.	Разделы 1-4	Внеаудиторная	оформление отчета; подготовка к защите	Вся рекомендуемая литература	8

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Самостоятельная работа реализуется:

- 1) Непосредственно в процессе аудиторных занятий, при выполнении лабораторных работ.
- 2) В контакте с преподавателем вне рамок расписания - на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.
- 3) В библиотеке, дома, в общежитии, на кафедре при оформлении отчетов лабораторных работ и подготовке к их защите.

Самостоятельной работа студентов может быть как в аудитории, так и вне ее.

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов также включает в себя подготовку к устным опросам по каждому из изучаемых разделов. Также самостоятельная работа подразумевает систематический подход к обучению, в соответствии с предложенным в разделе 6.1 графиком, что, в свою очередь, способствует получению зачета по данной дисциплине.

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы не планируются.

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература

- 1) Паперный В.Л. Основы нанотехнологий. Плазменные технологии в нанoeлектронике [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие / В. Л. Паперный. - ЭВК. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9624-1102-6
- 2) Владимиров, Г. Г. Физика поверхности твердых тел: учебное пособие [Электронный ресурс] / Г. Г. Владимиров. - Москва : Лань", 2016. - : ил. -). - Режим доступа: ЭБС "Издательство Лань". - Неогранич. доступ. - Библиогр.: с. - ISBN 978-5-8114-1997-5

дополнительная литература

- 1) Рощин В.М. Технология материалов микро-, опто- и нанoeлектроники [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. подгот. 210100 "Электроника и микроэлектроника" : в 2 ч. / В. М. Рощин. - 2-е изд. - ЭВК. - М. : Бином. Лаборатория знаний. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-94774-913-7. Ч. 2. - 2012. - ISBN 978-5-9963-1471-3
- 2) Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. О. Вальднер [и др.]. - 5-е изд. (эл.). - Электрон. текстовые дан. - М. : Лаборатория знаний, 2017. - 187 с. : есть. - ЭБС "Рукопт". - неогранич. доступ. - ISBN 978-5-00101-473-7

б) периодические издания

в) список авторских методических разработок

- 1) Паперный В.Л. Основы нанотехнологий. Плазменные технологии в нанoeлектронике [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие / В. Л. Паперный. - ЭВК. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-9624-1102-6
- 2) В системе образовательного портала ИГУ (<http://educa.isu.ru/>) размещены методические материалы и задания по данному курсу

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- • Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, более 10 полнотекстовых версий научных журналов по тематике курса
- • Информационная система доступа к российским физическим журналам и обзорам ВИНТИ (<http://www.viniti.ru>)
- • НБ ИГУ <http://library.isu.ru/ru>
- • Архив научных журналов JSTOR (<http://www.jstor.org>.)
- • ЭЧЗ «Библиотех» <https://isu.bibliotech.ru/>
- • ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- • ЭБС «Руконт» <http://rucont.ru>
- • ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru>

VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

Лабораторный практикум включает в себя следующее оборудование: установки для исследования тлеющего разряда, плазменный реактор, установка для термо-вакуумного химического парофазного осаждения, импульсный вакуум-дуговой ионный имплантер, установка для плазмохимического травления. Кроме того, имеются соответствующие контрольно-измерительные приборы (от мультиметра до ультразвуковой ванны), различные инструменты (отвертки, ножи, линейки, штангенциркули, пассатижи, стеклорез, пинцеты).

Для обработки полученных в ходе эксперимента данных на практических занятиях в лаборатории кафедры имеются компьютеры с соответствующим программным обеспечением.

6.2. Программное обеспечение:

- стандартные сервисы MS Windows для работы в глобальной сети Интернет;
- Microsoft Word и Microsoft Excel в составе пакета MS Office. Лицензия на новые версии периодически обновляется Центром новых информационных технологий ИГУ по всему университету

Специализированное программное обеспечение:

- программный пакет AvaSoft 8.0.1 для первичной обработки спектральных данных, получаемых «на лету» от высокочувствительного оптоволоконного спектрометра AvaSpec-2048;

- универсальное программное обеспечение AvaSoft-All, включая AvaSoft-Chem, AvaSoft-Color, AvaSoft-Irrad, AvaSoft-Process, AvaSoft-3D (№ 1409 от 12.12.2014).

6.3. Технические и электронные средства:

Для обработки полученных в ходе эксперимента данных на практических занятиях в лаборатории кафедры имеются компьютеры с соответствующим программным обеспечением.

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, набор щелочно-галоидных кристаллов, резиновые перчатки (одноразовые), дистиллированная вода, стекла в качестве подложек, образцы меди высокой чистоты, бязь для предварительной очистки образцов, оптические и покровные стекла.

VII. Образовательные технологии

Курс основан на **оригинальных разработках авторов**. Проводятся следующие виды занятий: лекции, лабораторные работы.

Формы организации внеаудиторной самостоятельной работы по данной дисциплине:

- работа с учебным пособием авторов программы
- изучение научной и специальной учебной литературы;
- подготовка и написание отчетов (в электронном виде) по лабораторным работам;

Каждая лабораторная работа в пособии предваряется подробным теоретическим введением, которое может играть роль краткого конспекта лекций по данной теме. После теоретического введения даны описания физических принципов измерения исследуемых параметров, принципиальных схем и конкретных методик измерений, а также рекомендации по обработке результатов измерений.

В ходе лабораторных работ студент готовит отчет, включающий в себе следующие элементы: описание эксперимента, схема, таблицы экспериментальных данных, осциллограммы (в виде скриншотов), ответы на контрольные вопросы.

Студенты выполняют работы небольшими группами, обсуждая последовательность действий, и вместе анализируют полученные результаты. Последовательность выполнения работы задается следующим образом:

- 1) Проводится инструктаж по технике безопасности (ТБ) в лаборатории. После ознакомления с ТБ и ответа на несколько соответствующих вопросов преподавателя (или инженера), студенты ставят подпись в журнале по технике безопасности.
- 2) Студенты знакомятся с теоретическим материалом.
- 3) Знакомство с перечнем приборов и принадлежностей. Знакомство с порядком включения и выключения стенда. Собираение электрической схемы (если нужно), подключение приборов. Подготовка материалов для эксперимента (вырезания подложки, скалывание кристалла, предварительная очистка и др.)
- 4) Выполнение эксперимента согласно ходу работы, указанному в методичке.

- 5) Обработка экспериментальных данных. Внесение соответствующих таблиц, графиков, диаграмм в заготовку будущего электронного отчета.
- 6) Подготовка и оформление отчета по лабораторной работе. Ответы на контрольные вопросы в методичке. Четкое формулирование выводов по работе.
- 7) Подготовка к защите отчета (с учетом изучения теоретического материала).
- 8) Защита отчета.

VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

8.1. Оценочные материалы (ОМ)

8.1.1. Оценочные средства для входного контроля

Входной контроль знаний не проводится.

8.1.2. Оценочные средства текущего контроля

Данная дисциплина обеспечивает главным образом формирование профессиональных компетенций (указаны выше) будущих бакалавров.

Текущий контроль успеваемости осуществляется по следующим критериям оценивания уровня приобретенных компетенций:

1) Пороговый уровень:

- **(знание)** дает определения основных понятий
 - воспроизводит основные физические факты, идеи
 - распознает физические объекты
 - знает основные методы решения типовых задач и умеет их применять на практике
- **(умение)** умеет работать со справочной литературой
 - использует приборы, указанные в описании лабораторной (или практической) работы
 - умеет представлять результаты своей работы
- **(владение)** владеет терминологией предметной области знания
 - способен корректно представить знания в математической форме

2) Базовый уровень

- **(знание)** понимает связи между различными физическими понятиями
 - имеет представление о физических моделях процессов в плазме
 - аргументирует выбор метода решения задачи; составляет план решения задачи
 - графически иллюстрирует задачу
- **(умение)** самостоятельно подбирает и готовит для эксперимента необходимое оборудование
 - применяет методы решения задач в незнакомых ситуациях;

- умеет корректно выражать и аргументированно обосновывать положения предметной области знания
- **(владение)** критически осмысливает полученные знания
 - способен корректно представить знания в математической форме
 - компетентен в различных ситуациях (работа в междисциплинарной команде)
 - владеет разными способами представления физической информации

3) Высокий уровень

- **(знание)** фактически и теоретически знает материал курса в пределах области исследования с пониманием границ применимости (знания глубокие, всесторонние)
- **(умение)** творчески подходит к решению физических задач (как теоретических, так и практических)
 - умеет абстрагировать проблемы, с которыми сталкивается при решении различных задач;
- **(владение)** может самостоятельно оценивать результаты своей работы;
 - способен совершенствовать действие работы, исходя из собственной оценки результатов
 - соблюдает нормы литературного языка, преобладает научный стиль изложения

Примеры контрольных вопросов и упражнений

- 1) Оцените длину свободного пробега λ для газа, находящегося при нормальных условиях ($p = 1 \text{ атм}$, $t = 0^\circ \text{C}$). Эффективный диаметр при расчёте возьмите равным $\sigma \approx 3 \cdot 10^{-10}$ (азот).
- 2) Какие виды вакуумных насосов Вы знаете? Кратко опишите их устройство.
- 3) По какому принципу работает термопарный преобразователь давления?
- 4) Объясните принцип работы ионизационного манометра.
- 5) При каком давлении длина свободного пробега молекул остаточного газа становится сравнимой с линейным размером рабочего объёма?
- 6) Перечислите типы точечных дефектов.
- 7) Какие дефекты чаще всего называют центрами окраски?
- 8) К чему приводит появление точечных дефектов в кристаллическом теле?
- 9) Каким методом определяют наличие и тип дефектов в кристалле?
- 10) Почему при длительной работе СВЧ-реактора в данном лабораторном стенде не происходит накопление центров окраски? Наоборот, кристалл начинает обесцвечиваться.
- 11) Почему кремний является основным материалом современной микро- и нанoeлектроники?
- 12) Что такое наночастицы? Каковы размеры наночастиц?
- 13) Какие методы получения наночастиц вы знаете?

- 14) Почему материалы в масштабе «нано» ведут себя нетрадиционным путем и показывают свойства, отличающиеся от тех, которые они имеют в макро состоянии. Что делает наноматериалы уникальными?

8.1.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

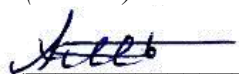
№ п/п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1.	Собеседование при защите отчета	Все темы	ОПК-1

Примерный список вопросов и упражнений к зачёту:

- 1) Плазма – четвертое состояние вещества. Ионизованный газ. Квазинейтральность, экранировка заряда, дебаевский радиус. Основные характеристики плазмы.
- 2) Основные методы генерации плазмы. Модели для описания свойств плазмы.
- 3) Диагностика параметров плазмы. Применение плазмы в электронике.
- 4) Виды газовых разрядов: дуга, тлеющий разряд, корональный разряд. Самостоятельный и несамостоятельный разряды. СВЧ-разряд.
- 5) Нанотехнологии. Методы получения наночастиц. Наноструктурные плёнки.
- 6) Поверхностный плазмонный резонанс.
- 7) Спектральный анализ наноструктурных объектов.
- 8) Плазмохимическое травление.
- 9) Методы исследования поверхности. Принцип работы сканирующего зондового микроскопа

Разработчики:

 профессор, зав.кафедрой, д.ф.-м.н. В.Л., Паперный
(подпись) (занимаемая должность) (инициалы, фамилия)

 доцент, к.ф.-м.н. А.А., Черных
(подпись) (занимаемая должность) (инициалы, фамилия)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и космической физики ИГУ
« 24 » марта 2025__г.

Протокол № 8, зав. кафедрой  В.Л. Паперный

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.