


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
**Институт автоматизации и процессов управления**  
Дальневосточного отделения Российской академии наук  
(ИАПУ ДВО РАН)

**«СОГЛАСОВАНО»**

Зам. директора по научно-образовательной деятельности, ученый секретарь, к.т.н.

 С.Б. Змеу

«29» декабря 2021 г.

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Директор ИАПУ ДВО РАН  
член-корреспондент РАН

 Р.В. Ромашко

«29» декабря 2021 г.



**ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ПРАКТИКИ**

**Группа научных специальностей 1.3. – «Физические науки»,  
научная специальность 1.3.11 «Физика полупроводников»**

**Форма подготовки (очная)**

**Образовательная программа «Физика полупроводников»**

**Форма подготовки (очная)**

**Отдел физики поверхности ИАПУ ДВО РАН**

курс 2 семестр 4  
общая трудоемкость 108 час. / 3з.е.  
зачет 2 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации и срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий обучающихся, утвержденными приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 № 951.

Программа кандидатского экзамена обсуждена на заседании МК ПКВК ИАПУ ДВО РАН, протокол № 3 от «17» ноября 2021 г.

Заведующий кафедрой МК ПКВК: д.ф.-м.н., профессор Галкин Н.Г.

Составитель: д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор МК ПКВК Н.Г. Галкин.

**Оборотная сторона титульного листа**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

Программа учебной практики предназначена для аспирантов, обучающихся по основной образовательной программе «Физика полупроводников» и входит в базовую часть учебного плана подготовки аспирантов.

При разработке программы учебной практики использованы федеральные государственные требования к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по группе научных специальностей 1.3. – «Физические науки» и научной специальности 1.3.11 – «Физика полупроводников» и учебный план подготовки аспирантов по научной специальности «Физика полупроводников», разработанный в федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук.

**Целью** учебной практики является приобретение умений и навыков работы на основных экспериментальных установках отдела физики поверхности ИАПУ ДВО РАН, а также освоение методов первопринципных расчетов и использования программных продуктов для моделирования процессов и подгонки экспериментальных данных.

### **Задачи учебной практики:**

1. Закрепление теоретических, методических и экспериментальных знаний и умений в области физики полупроводников и низкоразмерных структур, приобретенных при изучении теоретических дисциплин образовательной программы аспирантуры;
2. Формирование способности структурировать и преобразовать научное знание в соответствующей области в методический материал;
3. Овладение основами научно-методической и учебно-методической деятельности;
4. Формирование у аспирантов положительной мотивации к научной и методической работе в области физики полупроводников и нанoeлектроники.

В результате прохождения учебной практики формируется компетенция- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в физике полупроводников с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.

В процессе прохождения практики аспиранты должны приобрести следующие умения и владения:

- уметь формулировать цели личного и профессионального развития и условия их достижения, исходя из тенденций развития области профессиональной деятельности, этапов профессионального роста, индивидуально-личностных особенностей,

- уметь осуществлять личный выбор в различных профессиональных и морально-ценностных ситуациях, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой и обществом,

- владеть способами выявления и оценки индивидуально-личностных, профессионально-значимых качеств и путями достижения более высокого уровня их развития.

- уметь использовать современное лабораторное оборудование для проведения эксперимента;
- уметь выбирать и применять методы исследования физических свойств полупроводниковых сред;
- уметь обосновано выбирать методы экспериментального исследования структуры полупроводниковых сред;
- уметь рационально организовывать научную работу в выбранной области физики полупроводниковых сред;
- уметь выбирать математические методы необходимые для описания физических процессов, протекающих в полупроводниковых средах;
- владеть навыками проведения НИР;
- владеть методами экспериментального исследования структуры полупроводниковых сред;

- владеть навыками анализа научных текстов на государственном и иностранном языках;
- владеть различными методами, технологиями и типами коммуникаций при осуществлении профессиональной деятельности на государственном и иностранном языках.

### **Место учебной практики в структуре образовательной программы аспирантуры.**

Учебная практика входит в базовую часть блока 2 структуры программы аспирантуры и является составной частью профессиональной подготовки аспиранта для получения квалификации «Исследователь». Она представляет собой вид практической деятельности аспирантов по осуществлению обучения работе на экспериментальном оборудовании, предназначенном, как для синтеза полупроводниковых гетероструктур, так и для исследования их структурных, оптических и электрических свойств, а также – для освоения методов первопринципного моделирования и программных продуктов для моделирования экспериментальных данных, укрепления навыков английского языка при чтении современной англоязычной научной периодики и навыков коммуникации с сотрудниками научных подразделений и вспомогательных служб.

Для выполнения программы учебной практики аспирант должен владеть знаниями и умениями по дисциплинам «Физика полупроводников» и «Иностранный язык» и активно осваивать новые знания в области современного научного оборудования.

### **Время и место проведения практики**

Учебная практика, в соответствии с учебным планом и календарным учебным графиком, проводится на втором курсе в четвертом семестре. Форма проведения учебной практики – сосредоточенная.

Аспиранты проходят практику в отделе физики поверхности Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН (ИАПУ ДВО РАН).

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ПРАКТИКИ

Общая трудоемкость учебной практики составляет 6 зачетных единиц (216 час.).

№ п/п	Раздел практики	Часы	Формы контроля
1	Изучение конструкции и методик работы со сверхвысоковакуумными установками, оснащенными методами изучения кристаллической и электронной структуры, химического состава.	4	Отчет о работе с документами по установке
2	Освоение методик работы со сверхвысоковакуумным оборудованием, включая методы подготовки образцов до загрузки (химические очистки) и после загрузки, включая температурные методики получения атомарно-чистой поверхности на образцах монокристаллического кремния, кремния-на-изоляторе и монокристаллическом сапфире	12	Подготовка кратких конспектов по процедурам химической очистки подложек, а также по процедурам высокотемпературной очистки кремния и низкотемпературной очистки кремния-на-изоляторе и сапфира.
3	Освоение методик настройки и регистрации снимков дифракции медленных электронов (ДМЭ) для расчета параметров кристаллической решетки подложки, спектров электронной Ожэ-спектроскопии (ЭОС), спектров характеристических потерь энергии электронами (СХПЭЭ) и изображений поверхности методом сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) при изучении морфологии, электронной структуры и химического состава атомарно-чистых поверхностей полупроводников.	32	Подготовка кратких конспектов по настройке и работе с методами ДМЭ, ЭОС, СХПЭЭ и СТМ.
4	Изучение конструкции и методик работы с оптическим спектральным оборудованием, используемым для изучения оптических свойств объемных и двумерных материалов на монокристаллических подложках, как при комнатной температуре, так и при охлаждении - нагреве.	4	Отчет о работе с документами по спектральным установкам

№ п/п	Раздел практики	Часы	Формы контроля
5	Освоение методик работы на UV-VIS спектрофотометре HitachiU-3010 с интегрирующей сферой и Фурье-спектрофотометре Vertex 80-v на образцах монокристаллического кремния и сапфира	20	Подготовка кратких конспектов по настройке двух спектрофотометров и обеспечению корректной процедуры регистрации спектров от двух типов подложек
6	Освоение методик обработки спектров и их «сшивки» по энергетической шкале, а также освоение методов расчета оптических функций монокристаллических подложек и систем пленка-подложка в области инфракрасного излучения (RT-метод) и в широком диапазоне от дальней ИК-области до вакуумного ультрафиолета (метод Крамерса-Кронига).	32	Подготовка кратких отчетов с описаниями методик обработки спектров в широком диапазоне энергий фотонов и методик использования программного обеспечения для расчетов оптических функций.
7	Изучение конструкции и методик работы со сканирующими зондовыми микроскопами для исследования морфологии образцов на микро- и наноуровне.	4	Отчет о работе с документами зондовым микроскопам
8	Освоение методик работы на сканирующих зондовых микроскопах Solver P47 VertexMultiMode 8 в полуконтактном и контактном режимах, а также – в двухпроходных методиках для изучения физических свойств.	20	Подготовка кратких отчетов с методиками работы на двух сканирующих зондовых микроскопах
9	Изучение конструкции и методов работы на установке для подготовки образцов с системами глубокого охлаждения и намагничивания модель Teslatron TP. Изучение методов охраны труда при работе с объектами в охлажденном состоянии.	8	Отчет о работе с документами по системе TeslatronTP
10	Освоение методов подготовки тестовых структур для их электрических и магнитоэлектрических измерений в системе TeslatronTP	20	Краткий конспект с описанием последовательности формирования мезоструктуры «холловский крест»,

№ п/п	Раздел практики	Часы	Формы контроля
			включая методику химического травления и формирования омических контактов
11	Освоение методов проведения низкотемпературных измерений в диапазоне температур 1.5-300 К и магнитных полей от 0.1 Тл до 8.0 Тл в автоматическом и ручном режиме. Освоение методик расчета основных параметров полупроводников и металлов в рамках эффекта Холла и магнеторезистивного эффекта	40	Краткий конспект с описанием последовательности действий оператора установки TeslatronTP, начиная от загрузки образцов до прохождения измерений при остывании – нагреве без и с магнитным полем. Результаты расчетов тестовых структур по методам эффекта Холла и магнеторезистивного эффекта.
12	Изучение конструкции и методов работы на спектрофотометре комбинационного рассеяния света (КРС), совмещенного со сканирующей зондовой микроскопией (многофункциональная автоматизированная система ИНТЕГРА Спектра II)	4	Отчет о работе с документами по системе ИНТЕГРА Спектра II.
13	Освоение методов настройки системы ИНТЕГРА Спектра II в режиме КРС, фотолюминесценции и режиме атомной силовой микроскопии, в том числе, при возбуждении спектров КРС лазерами с различной длиной волны.	16	Краткий конспект с описанием последовательности действий оператора системы ИНТЕГРА Спектра II при работе с полупроводниковыми объектами.
	<b>ИТОГО</b>	<b>216</b>	



## **II. ЭТАПЫ ПРОХОЖДЕНИЯ УЧЕБНОЙ ПРАКТИКИ**

Прохождение учебной практики включает в себя три этапа:

1. Подготовительный этап, на котором аспирант знакомится с целью и задачами практики, описаниями установок, планирующихся к изучению и освоению, составляет индивидуальный план прохождения учебной практики, в котором определяются объем и последовательность действий, составляющих содержание практики.
2. Основной этап, на котором аспирант выполняет действия, определенные индивидуальным планом прохождения практики.
3. Завершающий этап, на котором аспирант готовит отчеты по каждому этапу практики, включающие описание проделанной аспирантом работы, с необходимыми приложениями.

## **III. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ ПРАКТИКИ**

Текущий контроль за прохождением практики осуществляет руководитель практики, контролируя соблюдение аспирантом индивидуального графика прохождения практики, объем и качество выполнения запланированных действий.

Промежуточный контроль осуществляется в форме зачета по учебной практике, выставляемого руководителем практики по результатам защиты отчета по практике.

## **IV. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ПРАКТИКИ**

1. Маюрникова Л.А. Основы научных исследований в научно-технической сфере [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие/ Маюрникова Л.А., Новосёлов С.В.— Электрон. текстовые данные.— Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2009.— 123 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/14381>.— ЭБС «IPRbooks», <http://www.iprbookshop.ru/14381.html>

2. Кожухар В.М. Основы научных исследований [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.М. Кожухар. - М.: Дашков и К, 2013. - 216 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=415587>

3. Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологии [Электронный ресурс] : учебное пособие / Под общ. редакцией Л.Н. Патрикеева. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. - 431 с.: <http://window.edu.ru/resource/622/64622>

4. Дубровский, В.Г. Теоретические основы технологии полупроводниковых наноструктур [Электронный ресурс] : учебное пособие/В. Г. Дубровский. - СПб.: СПбГПУ, 2006. - 347 с. <http://window.edu.ru/resource/346/63346/>

5. Юраков Ю.А. Получение тонких пленок сложного состава методом испарения и конденсации в вакууме [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие для вузов/ Ю. А. Юраков. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 2008. - 18 с. <http://window.edu.ru/resource/535/65535/>

6. Борисенко В. Е. Нанoeлектроника: теория и практика [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, А. Л. Данилюк, Е. А. Уткина.—3-е изд. (эл.).— М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 366 с.

7. Оура К. Введение в физику поверхности / К. Оура, В. Г. Лифшиц, А. А. Саранин [и др.] – М.: Наука, 2006. – 490 с. (библиотека ИАПУ ДВО РАН)

#### **Дополнительная литература** (печатные и электронные издания)

1. Волков Ю.Г. Диссертация: подготовка, защита, оформление [Электронный ресурс]: практическое пособие / Ю.Г. Волков. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Альфа-М : ИНФРА-М, 2009. - 176 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php?book=169409>

2. Татур Ю.Г. Высшее образование. Методология и опыт проектирования [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Татур Ю.Г.— Электрон. текстовые данные.— М.: Логос, Университетская книга, 2006.— 256 с.— Режим досту-

## V. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ПРАКТИКИ

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, объектов для проведения научных исследований с перечнем основного оборудования	Адрес (местоположение) учебных кабинетов, лабораторий, объектов для проведения научных исследований (с указанием номера помещения)
1	2	3
1.	Лаборатория оптики и электрофизики. Оснащение : 3 СВВ-установки для роста полупроводниковых нано- и гетероструктур. Фурье-спектрометр BRUKER VERTEX 80v для температурных исследований свойств полупроводников и низкоразмерных структур.	690041, Приморский край, г. Владивосток, ул. Радио, 5, ИАПУ ДВО РАН, каб. 331
2.	Лаборатория квантовых измерений. Оснащение: установка для исследования квантового эффекта Холла (Solatron XT) в полупроводниковых нано- и гетероструктурах.	690041, Приморский край, г. Владивосток, ул. Радио, 5, ИАПУ ДВО РАН, каб. 314
3.	Лаборатория двумерной микроэлектроники. СВВ-установка для низкотемпературных СТМ-исследований (Omicron VT UHV STM)	690041, Приморский край, г. Владивосток, ул. Радио, 5, ИАПУ ДВО РАН, каб. 310
4.	Лаборатория технологии полупроводников и диэлектриков. СВВ-установка для исследования поверхности методом СТМ и фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением "OMICRON, Sienta R3000 ARPES".	690041, Приморский край, г. Владивосток, ул. Радио, 5, ИАПУ ДВО РАН, каб. 304
5.	Лаборатория технологии полупроводников и диэлектриков. СВВ-установка Omicron Compact «Multiprob-S» для СТМ исследований при комнатной температуре	690041, Приморский край, г. Владивосток, ул. Радио, 5, ИАПУ ДВО РАН, каб. 306
6.	Лаборатория технологии гомоэпитаксии. Оснащение: установка молекулярно-лучевой эпитаксии Катунь.	690041, Приморский край, г. Владивосток, ул. Радио, 5, ИАПУ ДВО РАН, каб. 310
7.	Лаборатория сканирующей зондовой микроскопии. Два СЗМ: Solver 47P и VEECO.	690041, Приморский край, г. Владивосток, ул. Радио, 5, ИАПУ ДВО РАН, каб. 316
8.	Лаборатория спектральных измерений и электролюминесценции. Оснащение: стенд для температурных спектральных исследований фото-эдс, люминесценции и электролюминесценции.	690041, Приморский край, г. Владивосток, ул. Радио, 5, ИАПУ ДВО РАН, каб. Оптики, -1 этаж.
9.	Лаборатория роста квантовых гетероструктур. Оснащение: установка молекулярно-лучевой эпитаксии RIBER Siva 21Si-Ge	690041, Приморский край, г. Владивосток, ул. Радио, 5, ИАПУ ДВО РАН, каб. 218