



Основная профессиональная образовательная программа  
28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника  
(Материалы микро- и наносистемной техники)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра фундаментальной физики и нанотехнологий

ОДОБРЕНО:

Руководитель ОП

 А.И. Александров  
(подпись)

« 31 » августа 20 23 г.

### Рабочая программа дисциплины

Методы анализа и контроля наноструктурированных материалов

Уровень высшего образования:	бакалавриат
Квалификация выпускника:	бакалавр
Направление подготовки:	28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника
Направленность (профиль) образовательной программы:	Материалы микро- и наносистемной техники



### **1. Цели освоения дисциплины**

Познакомиться с возможностями дифракционных и зондовых методов при работе с нанообъектами, уметь практически реализовывать полученные теоретические знания и экспериментальные навыки для контроля и анализа наноматериалов и наносистем.

### **2. Место дисциплины в структуре ОП**

Дисциплина является обязательной и относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений.

Для освоения дисциплины необходимы знания, полученные при изучении дисциплин: "Математика", "Физика", "Физика конденсированного состояния вещества", "Информационные технологии", "Планирование и обработка результатов экспериментов".)

Обучающийся должен:

Знать: теоретические основы электрически и магнитных явлений, дифракционной оптики, атомной физики, физики конденсированного состояния вещества, математического анализа, теории функций комплексного переменного, анализа экспериментальных данных, основные информационные технологии по получению и анализу информации, получаемой из сети Интернет.

Уметь: проводить наблюдения и измерения физических величин, физические эксперименты, математические расчеты, анализ и обработку экспериментальных данных с использованием компьютерных программ, поиски информации в сети Интернет.

Иметь: практический опыт наблюдения и измерения физических величин, проведения физических экспериментов, математических расчетов, анализа и обработки экспериментальных данных, поиска информации в сети Интернет.

Материал курса может быть полезным при изучении ряда специальных дисциплин таких как "Физика поверхности", "Физические свойства тонких пленок и методы их получения", "Органические пленки и монослои", "Наноматериалы в электронике".

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

#### **3.1. Компетенции, формированию которых способствует дисциплина**

При освоении дисциплины формируются следующие компетенции в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению подготовки:

а) универсальные (УК):

УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач;

б) общепрофессиональные (ОПК): нет

в) профессиональные (ПК):

ПК-2. Способен проводить профессиональную деятельность по контролю структур и свойств материалов и компонентов микро- и наносистемной техники.

ПК-3. Способен выбирать и применять на практике методы и средства планирования и организации исследований и разработок, методы проведения экспериментов и наблюдений, обобщения и обработки информации.

#### **3.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения формируемых компетенций**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: теоретические основы дифракционных и зондовых методов и их возможности при работе с нанообъектами для корректной постановки исследовательских задач. (УК-1, ПК-2, ПК3).



Основная профессиональная образовательная программа  
28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника  
(Материалы микро- и наносистемной техники)

Уметь: правильно выбирать условия проведения экспериментов в зависимости от поставленной задачи, получать, обрабатывать, анализировать и представлять результаты экспериментов и расчетов в виде отчетов, публикаций и презентаций (УК-1, ПК-2, ПК-3).

Иметь практический опыт: использования дифракционных и зондовых методов для получения структурной информации о наноматериалах, в том числе и информации, необходимой для контроля технологических процессов их получения (УК-1, ПК-2, ПК-3).

#### 4. Объем и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 10 зачетных единиц (360 академических часа).

##### 4.1. Содержание дисциплины по разделам (темам), соотнесенное с видами и трудоемкостью занятий лекционно-семинарского типа

Объем иной контактной работы и самостоятельной работы обучающегося по дисциплине указан в учебном плане образовательной программы.

№ Раздела	Раздел дисциплины	Семестр	Виды занятий, их объем (в ак. часах, по очной форме обучения)		Формы текущего контроля успеваемости  Форма промежуточной аттестации
			Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного /практического типа	
1	Введение.	6	2	—	Входная диагностика: тест с последующим обсуждением результатов. Список вопросов, интересующих студента по содержанию дисциплины (сдается в письменном виде)
2	Рентгеновское излучение.	6	2	—	Опорный конспект
3	Основная задача РСА	6	6	8/6	Опорный конспект/ Материалы практических заданий/
4	Методы РСА	6	6	8/6	Опорный конспект/ Материалы практических заданий/ Отчеты по лабораторным работам
5	Определение состава материала	6	6	8/6	Опорный конспект/ Опорный конспект/ Материалы практических заданий/ Отчеты по лабораторным работам



Основная профессиональная образовательная программа  
28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника  
(Материалы микро- и наносистемной техники)

6	Определение размеров кристаллитов и напряжений в образце	6	4	8/6	Опорный конспект/ Материалы практических заданий/ Отчеты по лабораторным работам
7	Определение структурных нарушений	6	4	8/6	Опорный конспект/ Материалы практических заданий/ Отчеты по лабораторным работам
8	Определение толщины пленок и покрытий	6	4	6/4	Опорный конспект/ Материалы практических заданий/ Отчеты по лабораторным работам
	Контроль полученных знаний и умений	6			Экзамен
Итого за 6 семестр:			34	50/34	
9	Электронное излучение и дифракция	7	6	8/0	Опорный конспект/ Материалы практических заданий/
10	Просвечивающая электронная микроскопия	7	6	8/4	Опорный конспект/ Материалы практических заданий/ Отчеты по лабораторным работам
11	Высоковольтная растровая электронная микроскопия	7	6	8/4	Опорный конспект/ Опорный конспект/ Материалы практических заданий/ Отчеты по лабораторным работам
12	Сканирующая зондовая микроскопия	7	4	6/2	Опорный конспект/ Материалы практических заданий/ Отчеты по лабораторным работам
	Контроль полученных знаний и умений	7			Экзамен
Итого за 7 семестр			22	30/10	
<b>ИТОГО 180 часов, из них</b>			<b>56</b>	<b>80/44</b>	

#### 4.2. Развернутое описание содержания дисциплины по разделам (темам)

Раздел 1. Введение в проблематику дисциплины, представление рабочей программы, осмысление требований к организации процесса обучения, самостоятельной работы и форм аттестации.

Раздел 2. Явления, происходящие при взаимодействии рентгеновского излучения с веществом. Характеристика рентгеновских излучений, используемых в рентгеноструктурном анализе (РСА).



Основная профессиональная образовательная программа  
28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника  
(Материалы микро- и наносистемной техники)

---

Раздел 3. Основная задача РСА и подходы к ее решению. Фурье-анализ и фурье -синтез. Фазовая проблема. Интенсивность и геометрия рентгеновского рассеяния объектами с различной размерностью. Факторы, влияющие на рассеянную интенсивность. Множители: геометрический, структурный, поляризации, Лоренца, поглощения, повторяемости. Статические и динамические искажения. Температурный множитель интенсивности.

Раздел 4. Методы РСА. Метод Лауэ. Метод порошка. Метод вращения. Применение методов рентгенографии при решении прикладных материаловедческих задач: физические эффекты, регистрируемые параметры, базовая аппаратура.

Раздел 5. Качественный и количественный рентгеновский фазовый анализ. Методы количественного рентгеновского фазового анализа. Определение степени кристалличности полимерных образцов.

Раздел 6. Влияние размеров кристаллитов на ширину дифракционных максимумов. Формула Шерера. Влияние микронапряжений на ширину дифракционных максимумов. Учет инструментальной расходимости пучка. Выделение кривой истинного дифракционного уширения методом Стокса. Разделение эффектов блочности и микронапряжений методом аппроксимации. Определение макронапряжений в линейно- и плосконапряженном состояниях. Метод  $\sin^2\psi$ . Раздельное определение главных напряжений.

Раздел 7. Определение типа твердого раствора и степени дальнего порядка в нем. Определение концентрации дефектов упаковки в деформированных металлах и сплавах. Определение размеров «частиц» и их распределения по размерам в образце из данных диффузного малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР).

Раздел 8. Использование метода скользящего рентгеновского пучка для исследования – структуры поверхностных слоев твердых тел и покрытий. Определения толщины и состава материала по ослаблению рентгеновских лучей в нем. Бахрома Киссига. Определение толщины сверхтонких плёнок.

Раздел 9. Длина волны электрона, ее зависимость от ускоряющего напряжения. Взаимодействие электронов с веществом. Получение электронограмм на пропускание и отражение. Специфика электронограмм. Расшифровка электронограмм поли- и монокристаллических образцов. Метод "косой" съемки. Определение оси зоны. Построение теоретических электронограмм.

Раздел 10. Основные узлы просвечивающего электронного микроскопа. Магнитные линзы. Дефекты магнитных линз. Основные представления о механизме формирования изображения. Глубина поля и глубина фокуса. Дифракционная ошибка. Предельное разрешение электронного микроскопа. Режимы работы и ход лучей. Дифракция и микродифракция. Методы исследования в просвечивающей электронной микроскопии. Дифракционный контраст: фазовый и амплитудный. Абсорбционный контраст. Светлопольное и темнопольное изображение. Действующее отражение. Виды контраста на совершенном кристалле. Рассеяние электронов на несовершенном кристалле.

Раздел 11. Устройство и принципы формирования изображения в растровом электронном микроскопе. Увеличение и разрешение. Основные режимы и дополнительные возможности. Контраст. Применение РЭМ для изучения полупроводников. Спектрометрия рентгеновского излучения от объектов в РЭМ. Рентгеновский микроанализ тонких образцов.

Раздел 12. Принципы работы сканирующих зондовых микроскопов (СЗМ). Сканеры зондовых микроскопов. Устройства для прецизионных перемещений зонда и образца. Защита от внешних воздействий. Формирование и обработка СЗМ изображений. Методы СЗМ: сканирующая туннельная электронная микроскопия, сканирующая атомно-силовая микроскопия,



Основная профессиональная образовательная программа  
28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника  
(Материалы микро- и наносистемной техники)

---

электросиловая микроскопия, магнитно-силовая микроскопия, сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия.

### **5. Образовательные технологии**

Традиционные образовательные технологии: классическое лекционное обучение (лекционные занятия), обучение с помощью учебной книги (самостоятельная работа), обучение с помощью системы малых групп (при проведении лабораторных и практических занятий),

Информационно-коммуникационные образовательные технологии: технологии смешанного обучения, включающие в себя поиск информации в Интернете (самостоятельная работа), применение специализированных пакетов для получения анализа экспериментальных данных и построения экспериментальных зависимостей (практические занятия), применение аудиовизуальных технических средств (лекционные занятия, презентации).

### **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Основной способ организации самостоятельной работы студентов — самостоятельная подготовка к выполнения практических и лабораторных работ по методическим указаниям. Полностью весь методический материал по обеспечению самостоятельной работы студентов приведен в Приложении 1 к РП.

### **7. Характеристика оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Система контроля по дисциплине включает: входной контроль, текущий контроль, промежуточный контроль по материалу 6 семестра — зачет, текущий контроль, итоговый контроль по материалу 7 семестра – экзамен.

В текущем контроле используются проверка опорных конспектов и материалов практических занятий и отчетов по лабораторным работам. В конце каждого семестра пишется итоговая контрольная работа, которая оценивается по пятибалльной шкале.

Перед каждым лабораторным занятием ведется опрос-допуск к работе. Студент обязан показать знания необходимого теоретического материала и методик исследований. После каждой работы студент пишет отчет и защищает его перед преподавателем.

Допуск к зачету происходит при наличии отчетов по лабораторным работам и положительной оценки за выполнение практических заданий.

Зачет проводится в письменной форме по вопросам, заранее данным студентам для домашней подготовки, которые охватывают все разделы изученного курса.

Оценка «не зачтено» ставится при условии невыполнения лабораторного практикума, практических заданий и частичных или неправильных ответов на два вопроса зачетного билета.

Оценка «зачтено» ставится при условии выполнения лабораторных и практических заданий и полных ответов на два вопроса зачетного билета.

Допуск на экзамены происходит при наличии отчетов по лабораторным работам и положительной оценки за выполнение практических заданий.

Экзамены проходят устно. В качестве оценочных средств используются: комплект экзаменационных билетов и дополнительные ситуационные вопросы. Билеты экзамена содержат два теоретических вопроса. Каждый вопрос оценивается по пятибалльной шкале. Используются следующие критерии оценки:

«5» — студент полностью раскрывает тему вопроса, самостоятельно и полно отвечает на дополнительные вопросы, связанные с темой вопроса;



Основная профессиональная образовательная программа  
28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника  
(Материалы микро- и наносистемной техники)

«4» — студент полностью раскрывает тему вопроса, но затрудняется отвечать на дополнительные вопросы, связанные с темой вопроса; или тема вопроса раскрыта не полностью, но студент уверенно отвечает на дополнительные вопросы, связанные с темой вопроса.

«3» — студент не полностью раскрывает тему вопроса и затрудняется отвечать на дополнительные вопросы, связанные с темой вопроса;

«2» — студент не раскрывает тему вопроса, проявляет незнание базовых терминов и понятий, необходимых для раскрытия темы.

Оценка за экзамен ставится как среднеарифметическое баллов за ответы на вопросы экзаменационного билета с учетом ответов на дополнительные ситуационные вопросы. Результат округляется до целого числа.

Вопросы экзаменационных билетов и типы дополнительных ситуационных вопросов приведены в фонде оценочных средств (Приложение 2).

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Основная учебная литература:

1. Физическое материаловедение : учебник для вузов : в 6-х т. / под ред. Б.А. Калин. - М. : МИФИ, 2008. - Т. 3. Методы исследования структурно-фазового состояния материалов. - 808 с. - ISBN 978-5-7262-0977-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=237979> (11.11.2015).

2. Илюшин А.С., Орешко А.П. Дифракционный структурный анализ. М.: физический ф-т МГУ ООО Изд. дом «Крепостновъ», 2013. 616 с. ISBN 978-5-85271-503-62.

3. Физическое материаловедение : учебник для вузов : в 6-х т. / под ред. Б.А. Калин. - М. : МИФИ, 2008. - Т. 3. Методы исследования структурно-фазового состояния материалов. - 808 с. - ISBN 978-5-7262-0977-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=237979> (11.11.2015).

4. Дж. Спенс Экспериментальная электронная микроскопия высокого разрешения, М., "Наука", 1986.

5. Смирнов, С.В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монолитных интегральных схем : учебное пособие / С.В. Смирнов. - Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010. - 115 с. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208659> (13.11.2015).

6. Микроанализ и растровая электронная микроскопия под ред. Ф. Морис, Л. Мени, Р. Тиксье, "Металлургия", М., 1985.

7. Филимонова, Н.И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия : учебное пособие / Н.И. Филимонова, Б.Б. Кольцов. - Новосибирск : НГТУ, 2013. - Ч. I. - 134 с. - ISBN 978-5-7782-2158-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228943> (13.11.2015).

8. Неволин, В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике : монография / В.К. Неволин. - Изд. 2-е, испр. - М. : Техносфера, 2014. - 174 с. : ил., схем., табл. - (Мир электроники). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-94836-382-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260697> (13.11.2015).



Основная профессиональная образовательная программа  
28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника  
(Материалы микро- и наносистемной техники)

Дополнительная учебная литература:

1. Иверонова В.И., Ревкевич Г.П. Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: Издательство МГУ, 1972. 247 с.

2. Фомин, Д.В. Экспериментальные методы физики твердого тела : учебное пособие / Д.В. Фомин. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 186 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2829-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259074> (13.11.2015).

3. Фетисов, Г.В. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ : учебное пособие / Г.В. Фетисов ; под ред. Л.А. Асланов. - М. : Физматлит, 2007. - 673 с. - ISBN 978-5-9221-0805-8 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=76647> (11.11.2015).

4. Русаков А.А. Рентгенография металлов. М.: Атомиздат, 1977, 480 с.

5. Сергеев, А.Г. Нанометрология / А.Г. Сергеев. - М. : Логос, 2011. - 415 с. - ISBN 978-5-98704-494-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=84986> (11.11.2015).

6. Созинов, С.А. Структурные методы исследования кристаллов : учебное пособие / С.А. Созинов, Л.В. Колесников. - Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2012. - 108 с. - ISBN 978-5-8353-1284-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232740> (11.11.2015).

**Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:**

Система электронной поддержки образовательного процесса «Мой университет» <https://uni.ivanovo.ac.ru>

Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

ЭБС «Университетская библиотека онлайн» [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru);

<http://lib.ivanovo.ac.ru/index.php/polnotekstovye-resursy/ebs-universitetskaya-biblioteka>

Электронная библиотека ИвГУ <http://lib.ivanovo.ac.ru/index.php/polnotekstovye-resursy/elibnew>

Электронный каталог НБ ИвГУ <http://lib.ivanovo.ac.ru/index.php/ek>

Программное обеспечение: операционная система Microsoft Windows, пакет офисных программ Microsoft Office и(или) LibreOffice, интернет-браузер Microsoft Edge и(или) Yandex Browser.

**9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Учебные аудитории:

— для проведения занятий лекционного типа с комплектом специализированной учебной мебели и техническими средствами обучения, служащими для предоставления учебной информации большой аудитории;

— для проведения занятий семинарского типа, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, выполнения курсовых работ (проектов) с комплектом специализированной учебной мебели и техническими средствами обучения.

Лаборатории, оснащенные лабораторным оборудованием, комплектом специализированной учебной мебели и техническими средствами обучения.





Основная профессиональная образовательная программа  
28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника  
(Материалы микро- и наносистемной техники)

Помещение для самостоятельной работы, оснащенное комплектом специализированной учебной мебели, компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в ЭИОС.

Демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия для занятий лекционного типа, обеспечивающие тематические иллюстрации: персональный компьютер, проектор, экран.

**Автор-составитель:** профессор кафедры фундаментальной физики и нанотехнологий, доктор физ.-мат. наук, доцент Александров А.И.

Программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры фундаментальной физики и нанотехнологий 31 августа 2023 г., протокол № 1

Программа обновлена  
протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
Согласовано:  
Руководитель ОП \_\_\_\_\_  
(подпись)

Программа обновлена  
протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
Согласовано:  
Руководитель ОП \_\_\_\_\_  
(подпись)

Программа обновлена  
протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
Согласовано:  
Руководитель ОП \_\_\_\_\_  
(подпись)

**Приложение 1. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

**Приложение 2. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.**