



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 ОПГ

А.И.Александров

(подпись)

« 1 » сентябрь 20 22 г.

### **Рабочая программа дисциплины**

#### *Физические свойства наноматериалов*

|   |  |
|---|--|
| 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         |

Иваново



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

---

## 1. Цели освоения дисциплины

Познакомиться с методами получения, свойствами и функциональными возможностями тонких пленок, используемых в различных областях науки и техники, уметь практически реализовывать полученные теоретические знания и экспериментальные навыки при работе с этими материалами.

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина является дисциплиной по выбору; относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

Студент, приступающий к изучению дисциплины, должен обладать знаниями, умениями и навыками, полученными ранее в ходе изучения дисциплин Математика, Физика, Физика конденсированного состояния вещества, "Химия", Компьютерное моделирование наносистем", "Информационные технологии", "Планирование и обработка результатов экспериментов".

Для освоения данной дисциплины обучающийся должен:

Знать: теоретические основы физики конденсированного состояния вещества, физической химии, анализа экспериментальных данных, основные информационные технологии по получению и анализу информации, получаемой из сети Интернет.

Уметь: пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами физики, проводить наблюдения и измерения физических величин, 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 полезен при изучении ряда специальных дисциплин, таких как "Технология компонентов микро- и наносистемной техники", прохождении учебной и преддипломной практик, выполнении научно-исследовательской работы.

## 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-1. Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом знаний теоретических и прикладных основ материаловедения, микромеханики и сопромата

ПК-5. Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом знаний оборудования, технологических процессов и свойств материалов, используемых при производстве микро- и наноразмерных электромеханических систем.

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

Знать: физические принципы исследования наноматериалов различного типа, природу размерных эффектов в их физических свойствах (УК-1, ПК-1).



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

Уметь: проводить эксперименты по исследованию свойств наноматериалов и критически анализировать полученные результаты на основе базовых и специальных знаний в области материалов, используемых в микро- и наносистемной технике (УК-1, ПК-1).

Иметь *практический опыт/Иметь навыки*: работы с наиболее распространёнными методами исследования физических свойств наноматериалов, имеющих перспективу практического использования в области микро- и наносистемной техники (УК-1, ПК-1, ПК-5)..

#### 4. Объем и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы (144 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.

| № п/п  | Разделы (темы) дисциплины                                | Семестр | Виды занятий, их объем (в ак. часах, по очной форме обучения) |   | Формы текущего контроля успеваемости (по очной форме обучения)            |
|--------|--|---------|---|---|---|
|        |  |         | Занятия лекционного типа                                      | Занятия Практического/ лабораторного типа | Формы промежуточной аттестации  |
| 1.     | Введение.  | 7       | 2   |   | Входная диагностика: тест с последующим обсуждением результатов.          |
| 2.     | Размерные эффекты в наноматериалах.                      | 7       | 4   | 2   | Опорный конспект<br>Материалы практических занятий. Презентации докладов. |
| 3      | Стабильность наноструктур.                               | 7       | 4   | 4   | Опорный конспект<br>Материалы практических занятий. Презентации докладов. |
| 4      | Подвижные носители заряда в наноразмерных структурах.    | 7       | 4   | 4   | Опорный конспект<br>Материалы практических занятий. Презентации докладов. |
| 5      | Элементы низкоразмерных структур.                        | 7       | 4   | 4   | Опорный конспект<br>Материалы практических занятий. Презентации докладов. |
| 6      | Транспорт носителей заряда вдоль потенциальных барьеров. | 7       | 4   | 6   | Опорный конспект<br>Материалы практических занятий. Презентации докладов. |
| 7      | Контроль полученных знаний и умений                      |         |   |   | Зачет   |
| Итого: |  |         | 22  | 20  |   |



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

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

**2. Размерные эффекты в наноматериалах.** Классификация консолидированных материалов. Размерные эффекты в физико-химических и физических свойствах. Поверхностная энергия. Фазовые превращения. Электронная теплоемкость. Тепло- и электропроводность. Прочность наноструктур. Соотношение Холла-Пэтча. Пластичность. Высокотемпературная деформация. Сверхпластичность.

**3. Стабильность наноструктур.** Термическая стабильность: экспериментальные результаты, моделирование и теоретические подходы. Радиационная стабильность: экспериментальные результаты, моделирование и теоретические подходы. Деформационная и коррозионная стабильность.

**4. Подвижные носители заряда в наноразмерных структурах.** Квантовое ограничение. Баллистический транспорт носителей заряда. Туннелирование носителей заряда. Точка поворота. Одноразмерные структуры. Двухразмерные структуры. Спиновые эффекты.

**5. Элементы низкоразмерных структур.** Свободная поверхность и межфазные границы. Сверхрешетки. Моделирование атомных конфигураций. Структуры с квантовым ограничением за счёт внутреннего поля: квантовые колодцы, правило Андерсона, модуляционно-легированные структуры, дельта-легированные структуры и за счёт внешнего поля: структуры металл/диэлектрик/полупроводник, структуры с расщепленным затвором.

**6. Транспорт носителей заряда вдоль потенциальных барьеров.** Интерференция электронных волн. Вольт-амперные характеристики низкоразмерных структур. Формализм Ландауэра-Бютикера. Отрицательное сопротивление изгиба. Квантовый эффект Холла. Проводимость двумерного электронного газа. Холловское плато в целочисленном эффекте Холла. Дробный квантовый эффект Холла. Квазичастицы с дробным зарядом.

#### **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 выполнению практических 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 — зачет.



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

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

Допуск к зачёту происходит при наличии отчетов по практическим и домашним заданиям с положительными оценками.

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

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

Вопросы к зачёту, примеры практических задач и материалы итоговых контрольных работ — в фонде оценочных средств (Приложении 2).

### 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная учебная литература:

1. Барыбин А.А. - Физико-химия наночастиц, наноматериалов и наноструктур: учебное пособие / А.А. Барыбин, В.А. Бахтина, В.И. Томилин, Н.П. Томилина. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2011. - 236 с. - ISBN 978-5-7638-2396-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=229593> (12.11.2015).
2. Елисеев, А.А. Функциональные наноматериалы / А.А. Елисеев, А.В. Лукашин. - М. : Физматлит, 2010. - 454 с. - ISBN 978-5-9221-1120-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68876> (11.11.2015).
3. Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологий. Учебное пособие. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 431 с. – ISBN 978-5- 9963-0346-5.
4. 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).
5. Борисенко В.Е. Нанозлектроника: учебное пособие / В.Е. Борисенко, А.И. Воробьева, Е.А. Уткина. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 223 с. - ISBN 978-5 94774-914-4
6. Андриевский Р.А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. -252 с. – ISBN 978-5-9963-0622-0

Дополнительная учебная литература:

1. Шука А.А. Нанозлектроника. – М.: Физматкнига, 2007. – 464 с. ISBN 978-5-89155-163-3
2. Физико-химия наночастиц, наноматериалов и наноструктур: учебное пособие / А.А. Барыбин, В.А. Бахтина, В.И. Томилин, Н.П. Томилина. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2011. - 236 с. - ISBN 978-5-7638-2396-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=229593> (11.11.2015).
3. Андриевский Р.А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. -252 с. – ISBN 978-5-9963-0622-0

### 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>



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

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.

Лаборатория, оснащенная лабораторным оборудованием, комплектом специализированной учебной мебели и техническими средствами обучения.

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 рабочей программы дисциплины:** 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 2022 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.**