



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)

28 августа 2024 г.

### **Рабочая программа дисциплины**

#### **Физические свойства тонких пленок**

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, физический 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-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.

ПК-6. Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом знаний оборудования, технологических процессов и свойств материалов, используемых при производстве микро- и наноразмерных электромеханических систем



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

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

Знать: физические принципы получения и исследования тонких плёнок, электрические и оптические свойства микроструктур, природу размерных эффектов в их физических свойствах (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-6).

Уметь: проводить эксперименты по получению и исследованию свойств тонких пленок металлов, диэлектриков и полупроводников и критически анализировать полученные результаты на основе базовых и специальных знаний в области материалов, используемых в микро- и нанoeлектронике (ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-6).

Иметь *практический опыт/Иметь навыки*: работы с наиболее распространёнными методами получения и исследования физических свойств тонких пленок в аспекте их практического использования в качестве материалов для элементов микро- и наносистемной техники (УК-1, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-6)..

**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	8	2		Входная диагностика: тест с последующим обсуждением результатов.
2.	Специфика, принципы и методы получения тонких плёнок	8	8	/12	Опорный конспект/ Материалы практических заданий/ Отчеты по лабораторным работам
3	Элементарные процессы роста тонких плёнок	8	4	2/	/ Опорный конспект/ Материалы практических заданий/
4	Электрические свойства тонких плёнок металлов	8	4	/4	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)

5	Оптические свойства тонких плёнок металлов	8	4	4/	Опорный конспект/ Материалы практических заданий/ Отчеты по лабораторным работам
6	Электрические и оптические свойства тонких плёнок полупроводников	8	6	8/	/ Опорный конспект/ Материалы практических заданий/ Отчеты по лабораторным работам
7	Тонкие плёнки диэлектриков с электронной проводимостью	8	6	4/	Опорный конспект/ Материалы практических заданий/
	Контроль полученных знаний и умений				Зачет
Итого:			34	34	

#### 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. Специфика, принципы и методы получения тонких плёнок.** Специфика тонких плёнок как объектов с существенной ролью размерных эффектов и влиянием подложек. Классификация методов получения тонких плёнок. Термическое испарение. Испарение с резистивным нагревом. Электронно-лучевое испарение. Лазерное распыление. Катодное распыление. Магнетронное распыление. Ионно-лучевое распыление.

**3. Элементарные процессы роста тонких плёнок.** Термодинамическая теория зародышеобразования (теория Фольмера-Вебера). Кристаллизация и рост плёнок. Некоторые особенности структуры плёнок.

**4. Электрические свойства тонких плёнок металлов.** Электропроводность гранулярных плёнок металлов. Электропроводность сплошных плёнок металлов.

**5. Оптические свойства тонких плёнок металлов.** Особенности распространения электромагнитных волн в проводящей среде. Электропроводность и оптическое поглощение металлов. Размерные эффекты в оптическом поглощении тонких плёнок металлов.

**6. Электрические и оптические свойства тонких плёнок полупроводников.** Основы зонной теории полупроводников. Одноэлектронное приближение. Зонная структура. Число состояний в разрешённой зоне и граничные условия. Движение электронов в кристалле под действием электрического поля. Эффективная масса и концентрация носителей заряда. Дрейфовая подвижность носителей заряда в собственном полупроводнике. Размерные эффекты по проводимости в плёнках собственного полупроводника. Оптическое поглощение собственного полупроводника при межзонных переходах электронов. Оптическое поглощение на электронах проводимости и размерные эффекты. Фотопроводимость собственного полупроводника и размерные эффекты.

**7. Тонкие плёнки диэлектриков с электронной проводимостью.** Термоэлектронная эмиссия. Эффект Ричардсона – Шоттки и проводимость тонких плёнок диэлектриков. Проводимость диэлектрических плёнок по механизму прямого туннельного эффекта. Проводимость диэлектрических плёнок по механизму автоэлектронной эмиссии. Теория Фаулера – Нордгейма.



## **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 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 — зачет.

В текущем контроле используются проверка опорных конспектов и материалов практических занятий и отчетов по лабораторным работам.

Перед каждым лабораторным занятием ведется опрос-допуск к работе. Студент обязан показать знания необходимого теоретического материала и методик исследований. После каждой практической 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.

## **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. -



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

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. Нанoeлектроника: 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. Щука А.А. Нанoeлектроника. – 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>  
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.

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.



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

---

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

**Автор(ы) 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 28 августа 2024 г., протокол № 1

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

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