

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра нанотехнологий и микросистемной техники**

Авторы-составители: **Спивак Лев Волькович**  
**Сосунов Алексей Владимирович**  
**Волынцев Анатолий Борисович**

Рабочая программа дисциплины

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАНОСТРУКТУРЫ**

Код УМК 93715

Утверждено  
Протокол №9  
от «13» мая 2020 г.

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Инструментальные методы определения наноструктуры

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в обязательную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **28.03.01** Нанотехнологии и микросистемная техника  
направленность Материалы микро- и наносистемной техники

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

В результате освоения дисциплины **Инструментальные методы определения наноструктуры** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**28.03.01** Нанотехнологии и микросистемная техника (направленность : Материалы микро- и наносистемной техники)

**ПК.1** Способен исследовать и контролировать структуру вещества на атомно-молекулярном уровне с помощью различных инструментальных методов

#### **Индикаторы**

**ПК.1.2** Применяет современные инструментальные методы исследования и контроля строения реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне

**ПК.4** Способен проектировать и сопровождать изготовление опытных партий новых объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники

#### **Индикаторы**

**ПК.4.2** Контролирует результаты технологических процессов производства объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника (направленность: Материалы микро- и наносистемной техники)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	11
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	3
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	108
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	42
<b>Проведение лекционных занятий</b>	14
<b>Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку</b>	28
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	66
<b>Формы текущего контроля</b>	Защищаемое контрольное мероприятие (3)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Зачет (11 триместр)

## **5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины**

### **1. Оптическая микроскопия**

В данном разделе рассматриваются основы оптической микроскопии, света, как носителя информации. Оптический дифракционный предел. Устройство и принцип работы оптического микроскопа. Его преимущества и недостатки.

### **2. Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия**

В данном разделе рассматриваются следующие аспекты электронной микроскопии:

Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ):

- история открытия;
- взаимодействие электронного зонда с веществом;
- принцип работы и устройства;
- применение ПЭМ, возможности и ограничения;
- подготовка образцов.

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ):

- взаимодействие электронного зонда с веществом;
- принцип работы и устройства;
- артефакты изображений;
- анализ химического состава образцов;
- применение СЭМ.

### **3. Сканирующая туннельная микроскопия**

В данном разделе рассматриваются физические аспекты зондовых методов исследования структуры наноматериалов. Типы взаимодействий. Технические аспекты устройства зондовых микроскопов. Физические основы пьезосканеров. Явление туннелирования электронов через одномерный потенциальный барьер. Вольт-амперные характеристики. Возможности туннельной микроскопии.

### **4. Атомно-силовая, магнитная, акустическая, тепловая, электросиловая микроскопии**

Раздел посвящен зондовым микроскопам, работающим на различных принципах взаимодействия зондового датчика с поверхностью образцов. Рассматриваются принцип работы и устройства зондовых микроскопов. Устройство консолей, технология их изготовления и параметры. Техника зондовых микроскопов (сканеры, механика, позиционирование). Режимы исследования характеристик материалов, в том числе наноматериалов.

### **5. Рамановская и ИК-спектроскопии**

В данном разделе рассматриваются методы ИК-спектроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния света. История открытия. Физические основы данных методов. Возможности и ограничения. Устройства спектроанализаторов.

### **6. Вольтамперометрия**

Раздел посвящен вольтамперометрии — метод анализа, основанный на исследовании зависимости тока поляризации от напряжения, прикладываемого к электрохимической ячейке, когда электрический потенциал рабочего электрода значительно отличается от равновесного значения. По разнообразию методов вольтамперометрия — самая многочисленная группа из всех электрохимических методов анализа материалов. Рассматриваются физические принципы работы и устройства. Примеры различных материалов, наноматериалов. Практическое применение для накопителей энергии (суперконденсаторов) высокой мощности.

### **7. Наноиндентирование**

Раздел посвящен испытанию материалов методом индентирования, применяемое к нанобъектам

материала (тонкие плёнки и покрытия, микро- и наноструктуры) для исследования их механических свойств и структурного анализа. Рассматриваются физические основы микро- и наноиндентирования. Прикладываемые нагрузки, форма инденторов и модели внедрения.

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Филимонова, Н. И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур. Сканирующая зондовая микроскопия. Часть I : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Б. Б. Кольцов. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2013. — 134 с. — ISBN 978-5-7782-2158-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/45104.html>
2. Величко, А. А. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур. Часть II : учебное пособие / А. А. Величко, Н. И. Филимонова. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2014. — 227 с. — ISBN 978-5-7782-2534-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/45105.html>

### Дополнительная:

1. Наноматериалы: свойства и перспективные приложения:[сборник]/[А. Б. Ярославцев, В. К. Иванов, П. П. Федоров и др.].-Москва:Научный мир,2014, ISBN 978-5-91522-393-5.-455.-Библиогр. в конце разд.
2. Семенова О. Р. Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия:учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров "Нанотехнологии и микросистемная техника"/О. Р. Семенова.-Пермь,2021, ISBN 978-5-7944-3637-2.-132.-Библиогр.: с. 127-128

## 9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

[www.xumuk.ru](http://www.xumuk.ru) Сайт о химии

<http://www.iprbookshop.ru/88492.html> 1. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур

<http://www.iprbookshop.ru/67572.html> Приборы и методы исследования наноматериалов фотоники

## 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине **Инструментальные методы определения наноструктуры** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- презентационные материалы (слайды по темам лекционных и практических занятий);
- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС) ;
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

1. Операционная система "ALT Linux".
2. Приложение позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов «Adobe Acrobat Reader DC».
3. Программы, демонстрации видео материалов (проигрыватель) «WindowsMediaPlayer».
4. Программа просмотра интернет контента (браузер) «Google Chrome» или аналогичных.
5. Офисный пакет приложений «LibreOffice».

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ ([student.psu.ru](http://student.psu.ru)).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## 11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой или маркерной доской.

Лабораторные занятия проходят в Лаборатории материаловедения, оснащенной специализированным оборудованием. Состав оборудования определен в Паспорте лаборатории.

Групповые (индивидуальные) консультации проводятся в аудитории, оснащенной меловой (и) или маркерной доской.

Текущий контроль осуществляется в аудитории, оснащенной меловой (и) или маркерной доской.

К помещениям для самостоятельной работы студентов относятся:

- Аудитория для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспеченный доступом в электронную информационно-

образовательную среду университета.

• Помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Инструментальные методы определения наноструктуры**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.  
Индикаторы и критерии их оценивания**

**ПК.4**

**Способен проектировать и сопровождать изготовление опытных партий новых объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники**

<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
<b>ПК.4.2</b> Контролирует результаты технологических процессов производства объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники	Знать классификацию инструментальных методов, применяемых в нанотехнологиях, физические принципы их функционирования, области применения и возможности. Уметь выбирать необходимые инструментальные методы изучения наноструктурных материалов, исходя из задач конкретного исследования.	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>обучающийся не может даже кратко охарактеризовать тему вопроса и ему не помогают подсказки и наводящие вопросы экзаменатора.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>обучающийся дает лишь краткие сведения по теме вопроса</p> <p align="center"><b>Хорошо</b></p> <p>затруднения ответа по некоторым аспектам темы вопроса, если обучающийся может воспользоваться подсказками и наводящими вопросами экзаменатора</p> <p align="center"><b>Отлично</b></p> <p>полный ответ на вопрос, понимание места рассматриваемой темы в общем контексте дисциплины</p>

**ПК.1**

**Способен исследовать и контролировать структуру вещества на атомно-молекулярном уровне с помощью различных инструментальных методов**

<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
<b>ПК.1.2</b> Применяет современные инструментальные методы исследования и контроля строения реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне	Знать современные инструментальные методы исследования и контроля строения реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне. Уметь применять современные инструментальные методы исследования наноматериалов и материалов для микросистемной техники.	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>обучающийся не может даже кратко охарактеризовать тему вопроса и ему не помогают подсказки и наводящие вопросы экзаменатора.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>обучающийся дает лишь краткие сведения по теме вопроса</p> <p align="center"><b>Хорошо</b></p> <p>затруднения ответа по некоторым аспектам темы вопроса, если обучающийся может воспользоваться подсказками и наводящими</p>

<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
		<p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b> вопросами экзаменатора</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b> полный ответ на вопрос, понимание места рассматриваемой темы в общем контексте дисциплины</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Зачет

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов :** 100

### Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>ПК.1.2</b> Применяет современные инструментальные методы исследования и контроля строения реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне	2. Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопии <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Знать устройство оптического микроскопа. Знать особенности, принцип работы, физические принципы растровой электронной микроскопии. Знать особенности, принцип работы, физические принципы просвечивающей электронной микроскопии. Знать физические основы рентгеноспектрального микроанализа.
<b>ПК.4.2</b> Контролирует результаты технологических процессов производства объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники	4. Атомно-силовая, магнитная, акустическая, тепловая, электросиловая микроскопии <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Знать особенности, принцип работы, физические принципы туннельной микроскопии. Знать особенности, принцип работы, физические принципы атомно-силовой микроскопии. Знать особенности, принцип работы (устройство), физические принципы акустической и тепловой микроскопии. Знать особенности, принцип работы (устройство), физические принципы магнитной и электросиловой микроскопии.

<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Мероприятие текущего контроля</b>	<b>Контролируемые элементы результатов обучения</b>
<b>ПК.1.2</b> Применяет современные инструментальные методы исследования и контроля строения реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне	<b>7. Наноиндентирование</b> <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Знать особенности, принцип работы (устройство) и физические принципы ИК-спектроскопии. Знать особенности, принцип работы (устройство) и физические принципы Рамановской спектроскопии. Знать особенности, принцип работы (устройство) и физические принципы наноиндентирования. Знать физические основы электрохимических исследований материалов.

### **Спецификация мероприятий текущего контроля**

#### **2. Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопии**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Знать особенности, принцип работы, физические принципы растровой электронной микроскопии.	13
Знать физические основы рентгеноспектрального микроанализа.	10
Знать особенности, принцип работы, физические принципы просвечивающей электронной микроскопии.	10
Знать устройство оптического микроскопа.	7

#### **4. Атомно-силовая, магнитная, акустическая, тепловая, электросиловая микроскопии**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Знать особенности, принцип работы, физические принципы туннельной микроскопии.	13
Знать особенности, принцип работы (устройство), физические принципы магнитной и электросиловой микроскопии.	10
Знать особенности, принцип работы, физические принципы атомно-силовой микроскопии.	10
Знать особенности, принцип работы (устройство), физические принципы акустической и тепловой микроскопии.	7

#### **7. Наноиндентирование**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **20**

Проходной балл: **9**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Знать особенности, принцип работы (устройство) и физические принципы Рамановской спектроскопии.	7
Знать особенности, принцип работы (устройство) и физические принципы ИК-спектроскопии.	6
Знать особенности, принцип работы (устройство) и физические принципы наноиндентирования.	4
Знать физические основы электрохимических исследований.	3