

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

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

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

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

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).

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

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
ПК.4.2 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">Неудовлетворител</p> <p>обучающийся не может даже кратко охарактеризовать тему вопроса и ему не помогают подсказки и наводящие вопросы экзаменатора.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>обучающийся дает лишь краткие сведения по теме вопроса</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>затруднения ответа по некоторым аспектам темы вопроса, если обучающийся может воспользоваться подсказками и наводящими вопросами экзаменатора</p> <p align="center">Отлично</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

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
ПК.1.2 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">Неудовлетворител</p> <p>обучающийся не может даже кратко охарактеризовать тему вопроса и ему не помогают подсказки и наводящие вопросы экзаменатора.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>обучающийся дает лишь краткие сведения по теме вопроса</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>затруднения ответа по некоторым аспектам темы вопроса, если обучающийся может воспользоваться подсказками и наводящими</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		Хорошо вопросами экзаменатора Отлично полный ответ на вопрос, понимание места рассматриваемой темы в общем контексте дисциплины

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
ПК.1.2 Применяет современные инструментальные методы исследования и контроля строения реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне	2. Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопии Защищаемое контрольное мероприятие	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.
ПК.4.2 Контролирует результаты технологических процессов производства объектов нанотехнологий и элементов микросистемной техники	4. Атомно-силовая, магнитная, акустическая, тепловая, электросиловая микроскопии Защищаемое контрольное мероприятие	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.

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
ПК.1.2 Применяет современные инструментальные методы исследования и контроля строения реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне	7. Наноиндентирование Защищаемое контрольное мероприятие	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**

Показатели оценивания	Баллы
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**

Показатели оценивания	Баллы
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**

Показатели оценивания	Баллы
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