

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

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

**Кафедра нанотехнологий и микросистемной техники**

**Авторы-составители: Спивак Лев Волькович  
Волынцев Анатолий Борисович**

Рабочая программа дисциплины

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ**

Код УМК 93716

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

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Материаловедение наноматериалов

## **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 **Материаловедение наноматериалов** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

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

**ПК.2** Способен контролировать и прогнозировать физические свойства материалов с помощью различных инструментальных методов и компьютерного моделирования

#### **Индикаторы**

**ПК.2.1** Использует в своей профессиональной деятельности соотношения и взаимосвязи между структурой материалов и их физическими свойствами для достижения требуемых рабочих параметров объектов микро- и наносистемной техники

**ПК.2.2** Применяет современные, как инструментальные, так и компьютерные методы изучения и прогнозирования свойств материалов

#### 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>	10
<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>	28
<b>Проведение практических занятий, семинаров</b>	14
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	66
<b>Формы текущего контроля</b>	Защищаемое контрольное мероприятие (3)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Зачет (10 триместр)

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

### **1. Особенности наноструктуры**

Кинетический подход. Критерии аморфизации. Критерии на основе критической скорости охлаждения. Критерии на основе приведенной температуры. Определение склонности к аморфизации по виду диаграмм состояния. Геометрические критерии. Химические критерии. Структурные критерии. Электронные критерии. Термодинамический подход. Классификация консолидированных наноматериалов по составу, распределению и форме структурных составляющих. Специфика понятия «дефекта» в наноматериалах. Новые «понятия» в описании структуры наноматериалов.

### **2. Основы технологии получения наноматериалов**

Осаждение металла из газовой фазы на охлажденную подложку. Закалка из жидкого состояния. Метод Глейтера. Плазмохимическая технология. Разрушение кристаллической структуры твердого тела за счет внешних воздействий. Метод молекулярно-лучевой эпитаксии. Механизмы Фольмера-Вебера, Франка-Ван дер Мерве, Крастанова-Странского. Получение нанопористых материалов.

### **3. Модели структур нанокристаллических материалов**

Полиэдры Бернала. Модель Гаскелла. Методы машинного моделирования структуры АМС. Турбулярные, луковичные наноструктуры. Хиральность структуры.

### **4. Магнитные свойства нанокристаллических сплавов**

Особенности доменной структуры аморфных и нанокристаллических металлических сплавов. Влияние размерного фактора консолидированных наноматериалов. Способы оптимизации магнитных свойств при термической обработке.

### **5. Механические свойства нанокристаллических сплавов**

Упругие свойства. Деформация и разрушение аморфных сплавов при комнатных температурах. Влияние размерного фактора (размера нанозерна) на механические свойства.

### **6. Стабильность структуры нанокристаллических сплавов при нагреве**

Изменение структуры при низкотемпературном отжиге. Расслоение и кристаллизация. Пластичность. Кинетические особенности роста нанозерен. Роль диффузионного массопереноса.

### **7. Нанопроектирование металлических материалов**

Роль меди в развитии процессов кристаллизации. Роль ниобия в развитии процессов кристаллизации. Влияние температуры нагрева на характер перераспределения элементов сплава.

### **8. Применение нанокристаллических сплавов**

Магнитные экраны. Датчики (явление магнитострикции). Фильтры (коррозионная стойкость и магнитная проницаемость). Конструкционные, инструментальные и триботехнические материалы. Медицинские и биологические материалы. Наносборка. Наноэлектроника. Спинтроника. Микроэлектромеханические системы-MEMS. Инструменты нанотехнологии. Нанобизнес.

## **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. Наноструктурные материалы - 2014. Беларусь - Россия - Украина (НАНО-2014) : материалы IV Международной научной конференции (Минск, 7-10 октября 2014 г.) / I. N. Anfimova, B. Angelov, T. V. Antropova [и др.]. — Минск : Белорусская наука, 2014. — 432 с. — ISBN 978-985-08-1762-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/29586>
2. Ремпель А. А. Материалы и методы нанотехнологий: Учебное пособие/Ремпель А. А.- Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015, ISBN 978-5-7996-1401-0.-136. <http://www.iprbookshop.ru/68346.html>
3. Нанотехнологии и специальные материалы : учебное пособие для вузов / Ю. П. Солнцев, Е. И. Пряхин, С. А. Вологжанина, А. П. Петкова ; под редакцией Ю. П. Солнцева. — 3-е изд. — Санкт-Петербург : ХИМИЗДАТ, 2020. — 336 с. — ISBN 078-5-93808-346-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/97818.html>

### Дополнительная:

1. Андриевский Р. А., Рагуля А. В. Наноструктурные материалы: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 651800 "Физическое материаловедение"/Р. А. Андриевский, А. В. Рагуля.-Москва: Академия, 2005, ISBN 5-7695-2034-5.-192.
2. Наноструктурные материалы : учебное пособие / под редакцией Р. Ханнинк. — Москва : Техносфера, 2009. — 488 с. — ISBN 978-5-94836-221-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/12730>

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

<http://www.iprbookshop.ru/12730.html> Наноструктурные материалы

<http://www.iprbookshop.ru/68346.html> Материалы и методы нанотехнологий

<http://www.iprbookshop.ru/89230.html> Основы наноструктурного материаловедения

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

Образовательный процесс по дисциплине **Материаловедение наноматериалов** 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-образовательной 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.

Практические занятия проходят в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой или маркерной доской. 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  
Материаловедение наноматериалов**

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

**ПК.2**

**Способен контролировать и прогнозировать физические свойства материалов с помощью различных инструментальных методов и компьютерного моделирования**

<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
<p><b>ПК.2.1</b> Использует в своей профессиональной деятельности соотношения и взаимосвязи между структурой материалов и их физическими свойствами для достижения требуемых рабочих параметров объектов микро- и наносистемной техники</p>	<p>Иметь представление о новых направлениях развития материаловедения, физических основах создания новых материалов; Знать способы и критерии получения нанокристаллических материалов; Уметь прогнозировать возможность создания новых материалов, используя определенные критерии.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b> обучающийся не может даже кратко охарактеризовать тему вопроса и ему не помогают подсказки и наводящие вопросы экзаменатора.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b> обучающийся дает лишь краткие сведения по теме вопроса</p> <p align="center"><b>Хорошо</b> затруднения ответа по некоторым аспектам темы вопроса, если обучающийся может воспользоваться подсказками и наводящими вопросами экзаменатора</p> <p align="center"><b>Отлично</b> полный ответ на вопрос, понимание места рассматриваемой темы в общем контексте дисциплины</p>
<p><b>ПК.2.2</b> Применяет современные, как инструментальные, так и компьютерные методы изучения и прогнозирования свойств материалов</p>	<p>Приобрести навыки целенаправленного поиска нового класса материалов, по характерным признакам или технологическим требованиям; Иметь опыт анализа и интерпретации строения твердых тел, анализировать результаты исследований, полученных с помощью дифракционных методов исследования и/или электронной микроскопии.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b> обучающийся не может даже кратко охарактеризовать тему вопроса и ему не помогают подсказки и наводящие вопросы экзаменатора.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b> обучающийся дает лишь краткие сведения по теме вопроса</p> <p align="center"><b>Хорошо</b> 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 data-bbox="906 254 1268 323"><b>Хорошо</b> вопросами экзаменатора</p> <p data-bbox="906 365 1484 504"><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.2.1</b> Использует в своей профессиональной деятельности соотношения и взаимосвязи между структурой материалов и их физическими свойствами для достижения требуемых рабочих параметров объектов микро- и наносистемной техники	2. Основы технологии получения наноматериалов <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Методы получения наноматериалов. Классификация наноматериалов. Архитектуры: организация атомов в наноструктуре. Ансамбли: рецепторы и субстраты, гость-хозяин, самосборка.
<b>ПК.2.2</b> Применяет современные, как инструментальные, так и компьютерные методы изучения и прогнозирования свойств материалов	4. Магнитные свойства нанокристаллических сплавов <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Магнитные свойства наноматериалов. Природа ферромагнетизма в наноматериалах. Магнитный момент. Температура Кюри. Петля гистерезиса. Доменная структура. Магнитострикция. Структурная релаксация и магнитные свойства. Влияние отжига в магнитном поле на магнитные свойства наноматериалов. Стабилизация доменов. Явление дезаккомодации. Высокочастотные потери на перемагничивание. Электронные свойства наноматериалов. Электронная структура и плотность состояний. Комптоновское рассеяние. Аннигиляция позитронов. Электросопротивление наноматериалов.

<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Мероприятие текущего контроля</b>	<b>Контролируемые элементы результатов обучения</b>
<b>ПК.2.2</b> Применяет современные, как инструментальные, так и компьютерные методы изучения и прогнозирования свойств материалов	6. Стабильность структуры нанокристаллических сплавов при нагреве <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Механические свойства наноматериалов. Упругие модули. Неупругость. Твердость. Прочность и пластичность наноматериалов. Влияние температуры на механические свойства наноматериалов. Механизмы деформации. Эффект Холла-Петча. Наносборка. Нанозлектроника. Спинтроника. Микроэлектромеханические системы-MEMS. Инструменты нанотехнологии. Нанобизнес.

### **Спецификация мероприятий текущего контроля**

#### **2. Основы технологии получения наноматериалов**

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

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

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Знание методов получения наноматериалов.	9
Знание классификации наноматериалов.	8
Знание архитектуры наноматериалов: организация атомов в наноструктуре.	7
Знание ансамблей: рецепторы и субстраты, гость-хозяин, самосборка.	6

#### **4. Магнитные свойства нанокристаллических сплавов**

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>
Знание магнитных свойств наноматериалов. Природа ферромагнетизма в наноматериалах. Магнитный момент. Температура Кюри. Петля гистерезиса. Доменная структура. Магнитострикция.	13
Знание электронных свойств наноматериалов. Электронная структура и плотность состояний. Комптоновское рассеяние. Аннигиляция позитронов. Электросопротивление наноматериалов.	10
Знание структурной релаксации и магнитных свойств. Влияние отжига на магнитные свойства наноматериалов. Стабилизация доменов. Высокочастотные потери на перемагничивание.	10

Знание способов оптимизации магнитных свойств наноматериалов при термической обработке.	7
---	---

### **6. Стабильность структуры нанокристаллических сплавов при нагреве**

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

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

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Знание механических свойства наноматериалов. Упругие модули. Неупругость. Твердость. Прочность и пластичность наноматериалов.	13
Знание влияния температуры на механические свойства наноматериалов. Механизмы деформации. Эффект Холла-Петча.	10
Знание применения наноматериалов. Наносборка. Нанoeлектроника. Спинтроника. Микроэлектромеханические системы-MEMS. Инструменты нанотехнологии. Нанобизнес.	7