

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол № 7 от 28.06.2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Материаловедение наноматериалов и наносистем

---

Уровень высшего образования  
Магистратура

---

Направление подготовки / специальность  
11.04.04 - Электроника и наноэлектроника

---

Направленность образовательной программы  
Новые полупроводниковые технологии

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.02 Материаловедение наноматериалов и наносистем относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-8: Способность разрабатывать технические задания на проектирование технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники	<p>ПК-8.1: Знает основы технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники</p> <p>ПК-8.2: Способен разрабатывать технические задания на проектирование технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники</p> <p>ПК-8.3: Имеет навыки проектирования технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники</p>	<p>ПК-8.1:</p> <p>Знать</p> <p>31: основные разделы физики конденсированного состояния, физического материаловедения и смежных дисциплин, формирующих фундаментальную научно-образовательную базу, необходимую для решения задач в области физики функциональных материалов, нанодисперсных порошковых, фуллереновых, наноструктурных твердых, жидких и гель-образных материалов, наноразмерных элементов и объектов, наносистем (гетероструктур);</p> <p>32: основы нанотехнологии получения наноматериалов; основы нанотехнологии получения наноструктурных и градиентных упрочняющих, защитных и функциональных слоев и покрытий; основы технологических процессов синтеза композитных материалов</p> <p>ПК-8.2:</p> <p>Уметь</p> <p>У1: Уметь соотносить знания различных разделов физики конденсированного состояния</p>	Тест	Экзамен: Контрольные вопросы

		<p>с профильными знаниями в области физики функциональных материалов, а также со знаниями в смежных областях.</p> <p>У2: Уметь использовать специализированные знания в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и смежных дисциплин для обоснования выбора оптимального способа решения поставленных задач.</p> <p>У3: анализировать особенности нанопродуктов и нанотехнологий; составлять схемы технологического оборудования и приборов для нанотехнологических процессов</p> <p>ПК-8.3: Владеть</p> <p>В1: опытом использования знаний и методов физики конденсированного состояния для получения новых знаний и решения задач в области физики конденсированного состояния.</p> <p>В2: методами анализа особенностей наноматериалов и наносистем при составлении схем технологического оборудования и приборов для нанотехнологических процессов</p>		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>4</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>144</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
<b>- занятия лекционного типа</b>	<b>22</b>

- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
самостоятельная работа	68
Промежуточная аттестация	36 Экзамен

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Классификация материалов по техническому назначению, составу и свойствам	16	4	2	6	10
Виды наноматериалов	21	4	2	6	15
Свойства наноматериалов	28	6	5	11	17
Физико-химия процессов синтеза наноструктурированных материалов	26	4	5	9	17
Применение наноматериалов	15	4	2	6	9
Аттестация	36				
КСР	2				2
Итого	144	22	16	40	68

#### Содержание разделов и тем дисциплины

Классификация материалов по техническому назначению, составу и свойствам

Виды наноматериалов: золи, гели, суспензии, коллоидные растворы, матрично-изолированные кластерные сверхструктуры, фуллерены, фуллереноподобные материалы, углеродные нанотрубки, полимеры, сверхрешетки, самоорганизующиеся среды

Свойства наноматериалов: механические, теплофизические, физико-химические, электрофизические, оптические

Физико-химия процессов синтеза наноструктурированных материалов

Применение наноматериалов

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает: выполнение проекта, решение прикладной задачи кейса по профилю профессиональной деятельности и направленности образовательной программы.

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической

подготовки отводится 16 часов.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

Выполнение производственно-технологических задач профессиональной деятельности: Анализ состояния научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников. Определение цели, постановка задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготовка технических заданий на выполнение проектных работ. Проектирование устройств, приборов и систем электронной техники с учетом заданных требований. Разработка проектно-конструкторской документации в соответствии с методическими и нормативными требованиями.

- компетенций:

- ПК-8. Способность разрабатывать технические задания на проектирование технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий, лабораторного типа, групповых или индивидуальных консультаций.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 8 ч.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Самостоятельная работа студентов включает активное изучение лекционного материала, основной и вспомогательной учебной литературы, а также соответствующих разделов учебных и учебно-методических пособий, перечень которых приведен в п.7 настоящей рабочей программы дисциплины.

Основной целью самостоятельной работы является подготовка к выполнению лабораторных работ (практических занятий), анализ результатов, полученных в ходе выполнения лабораторных работ, а также решение задач, заданных преподавателем для самостоятельного разбора.

В случае отклонения студента от графика учебного процесса по какой-либо причине, в рамках самостоятельной работы может выделяться время на выполнение той части лабораторной работы, по которой имеет место отставание обучающегося от графика.

Для проведения самостоятельной работы обучающимся предоставляются свободные аудитории, доступ к компьютерной технике и, в случае необходимости, доступ к исследовательскому оборудованию, перечень которого приведен в п.8 настоящей рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

**5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

**5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

**5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-8:**

1. Какие устройства относятся к нанофотонным:

- а) использующие оптоэлектронные приборы с размером областей более  $10^{-6}$ ;
- б) использующие оптоэлектронные приборы с размером областей менее  $10^{-6}$ ;
- в) использующие оптоэлектронные приборы с размером областей более  $10^{-7}$ ;
- г) использующие оптоэлектронные приборы с размером областей менее  $10^{-7}$ ?

2. Какие наноструктуры называют квантовыми ямами:

- а) 3D;
- б) 2D;
- в) 1D;
- г) 0D?

3. Какие наноструктуры называют квантовыми точками:

- а) 3D;
- б) 2D;
- в) 1D;
- г) 0D?

4. Какой спектр характерен для квантовой точки:

- а) аналогичный спектру малоатомного кластера;
- б) аналогичный спектру малоатомной молекулы;
- в) аналогичный спектру квантовой ямы;
- г) аналогичный спектру одиночного атома?

5. Зависят ли свойства полупроводниковых наночастиц от их размера:

- а) не зависят;

- б) с уменьшением размеров спектр поглощения не меняется;
- в) с уменьшением размеров спектр поглощения сдвигается в красную сторону;
- г) с уменьшением размеров спектр поглощения смещается в голубую сторону?
6. Какими оптическими свойствами обладают металлические нанокластеры:
- а) более широкой полосой спектра поглощения, чем массивные материалы;
- б) более узкой полосой спектра поглощения, чем массивные материалы;
- в) постоянной диэлектрической проницаемостью;
- г) комплексной диэлектрической проницаемостью?
7. Каких размеров может быть экситон полупроводникового нанокластера?
- а) гораздо меньше кластера;
- б) сравнимым с кластером;
- в) больше кластера;
- г) гораздо больше кластера?

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить точки активного роста нового знания.
не зачтено	полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации

#### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

##### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие	Уровень	Минимальн	Уровень	Уровень	Уровень	Уровень

	знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	о допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»



<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### **5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-8**

1. Что понимают под термином нанотехнология?
2. Каково место объектов наномира на общей шкале размеров?
3. Определите пространственную размерность нанообъектов.
4. В чем особенности нанообъектов?
5. С чем связана повышенная прочность нанокристаллических материалов?
6. Какова особенность структуры межзеренных границ нанокристаллических материалов?
7. Каковы термодинамические особенности наноструктур?
8. Как можно рассчитать электросопротивление наноматериалов?
9. Определите особенности наноферромагнетиков.
10. Чем заменяется ферромагнетизм при переходе к нанометровым размерам?
11. Перечислите типы нанопористых материалов.
12. Чем характеризуется пористость?
13. Назовите и охарактеризуйте типы взаимодействия нанопористых материалов с окружающей средой.
14. Что такое цеолиты и где они применяются?
15. Дайте определение аморфного состояния твердого тела.
16. Что такое фуллерен?
17. Каковы особенности фуллеренов?
18. Что такое фуллериты?
19. Охарактеризуйте структурные особенности одностеночных и многостеночных УНТ в сравнении с другими структурными состояниями углерода (алмаз, графит, фуллерены).
20. Определите соотношение между диаметром одностеночных УНТ и хиральными числами  $m$  и  $n$ , также хиральным углом и хиральными числами.
21. Опишите пространственную структуру нанотрубок и фуллеренов.

22. Опишите строение эндоэдрального комплекса.
23. Почему стекло с примесью золота имеет красный цвет?
24. Что такое нанокпозиционный материал?
25. В чем заключается отличие металлического нанокмползита от полимерного?
26. Какие существуют типы нанокмползитов?
27. Перечислите основные методы получения наноматериалов.
28. Способы получения беспористых нанокристаллических материалов.
29. Какие методы положены в основу тонкопленочной технологии получения наноструктурных пленок?
30. В чем суть метода химического осаждения слоев из газовой фазы?
31. С помощью каких методов можно получать фуллерены?
32. Какие атомные субстанции являются эффективными катализаторами роста УНТ, в частности, массивов ориентированных УНТ?
33. Какова роль шаблонов при выращивании массивов ориентированных УНТ?
34. Что выявляет высокоразрешающая электронная микроскопия?
35. Какими методами можно изучать микроструктуру поверхности твердых тел?
36. В чем отличие методов СТМ и АСМ?
37. Какие существуют методы определения химического состава поверхности?
38. Каковы основные причины, инициирующие необычные свойства у наносистем?
39. Назовите основные применения нанокристаллических материалов в промышленности.
40. Приведите примеры применения наноструктур в приборостроении.
41. Назовите возможные применения углеродных нанотрубок

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом

Оценка	Критерии оценивания
	хотя бы одна компетенция сформирована на уровне « очень хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Андриевский Ростислав Александрович. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы / Р. А. Андриевский. - Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2012. - 252 с. : табл. - (Нанотехнологии). - ISBN 978-5-9963-0622-0 : 250.00., 1 экз.
2. Рыжонков Дмитрий Иванович. Наноматериалы : учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Левина, Э. Л. Дзидзигури . - Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2008. - 365 с. : ил. - (Нанотехнология). - ISBN 978-5-94774-724-9 : 316.00., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Наноструктурные материалы / под ред. Р. Ханнинка, А. Хилл ; пер. с англ. А. А. Шустикова ; под ред. Н. И. Бауровой. - М. : Техносфера, 2009. - 488 с. - (Мир материалов и технологий ; 6 - 25). - ISBN 978-5-94836-221-2 : 671.00., 1 экз.
2. Получение и исследование наноструктур : лабораторный практикум по нанотехнологиям / под ред. А. С. Сигова. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2010. - 146 с. : ил. - (Нанотехнологии). - Авт. указ. на обороте тит. л. - ISBN 978-5-9963-0028-4 : 224.00., 1 экз.
3. Пул Ч. Нанотехнологии : учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки "Нанотехнологии" / пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина ; доп. В. В. Лучинина. - 2-е, доп. изд. - М. : Техносфера, 2005. - 336 с. - (Мир материалов и технологий ; 6 - 03). - ISBN 5-94836-021-0 : 275.00., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. <http://www.lib.unn.ru/> - сайт Фундаментальной библиотеки ННГУ.
2. <http://www.unn.ru/books/> - фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ.

3. <https://biblio-online.ru/> - сайт электронной библиотеки «Юрайт», содержащий в открытом доступе книги по отдельным разделам дисциплины.
4. <https://e.lanbook.com> – сайт электронно-библиотечной системы «ЛАНЬ», содержащий в открытом доступе книги по отдельным разделам дисциплины.
5. <http://www.sciencedirect.com> – сайт международного издательства «Elsevier», публикующего статьи и монографии по актуальным направлениям физики конденсированного состояния и физического материаловедения, совпадающим с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
6. <http://elibrary.ru/defaultx.asp> - российская научная электронная библиотека «Elibrary», публикующая статьи, тематика которых совпадает с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
7. <http://znanium.com> – сайт электронно-библиотечной системы «Znanium.com», содержащий книги по отдельным разделам дисциплины.
8. <http://eqworld.ipmnet.ru/> - сайт электронной библиотеки EqWord, содержащий книги по отдельным разделам дисциплины

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Для выполнения лабораторных работ со стороны НИФТИ ННГУ предоставляется доступ к современному исследовательскому и технологическому оборудованию, необходимому для проведения практических занятий, в том числе:

Универсальная установка для гальваномагнитных и оптических исследований на базе криостата Janis CCS-300S/202.

Установка для исследования термоэлектрических свойств материалов.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 11.04.04 - Электроника и наноэлектроника.

Автор(ы): Дорохин Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Чувильдеев Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 20.05.2023, протокол № б/н.