

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
 УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
 «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
 (ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

**УТВЕРЖДАЮ»**

Председатель ученого совета ФРТЭ

\_\_\_\_\_ В.А. Небольсин

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
 «МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОСИСТЕМ»**

**Закреплена за кафедрой:** полупроводниковой электроники и наноэлектроники (ППЭНЭ)

**Направление подготовки (специальности):** 28.03.02 «Наноинженерия»

**Профиль:** «Инженерные нанотехнологии в приборостроении»

**Часов по УП:** 144 / **Часов по РПД:** 144

**Часов по УП (без учета на экзамены):** 144/ **Часов по РПД:** 144

**Часов на самостоятельную работу по УП:** 72 (50 %)

**Часов на самостоятельную работу по РПД:** 72 (55 %)

**Общая трудоемкость в ЗЕТ:** 4

**Виды контроля в семестрах (на курсах):** Экзамены —; Зачеты 5; Курсовые проекты —;

Курсовые работы —.

**Форма обучения:** очная. **Срок обучения:** нормативный

**Распределение часов дисциплины по семестрам**

Вид занятий	№ семестров, число учебных недель в семестрах																	
	1/18		2/18		3/18		4/18		5/18		6/18		7/18		8/12		Итого	
	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД
Лекции									36	36							36	36
Лабораторные									36	36							36	36
Практические									—	—							—	—
Ауд. занятия									72	72							72	72
Сам. работа									72	72							72	72
<b>Итого</b>									<b>144</b>	<b>144</b>							<b>144</b>	<b>144</b>

Программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) — государственные требования к минимуму содержания и уровня подготовки бакалавра по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия». Утвержден приказом Министерства образования Российской Федерации от 3 декабря 2015 г. № 1414.

Программу составил канд. техн. наук, доцент

Г.И. Липатов

Рецензент: д-р техн. наук, профессор

С.А. Акулинин

Рабочая программа дисциплины составлена на основании учебного плана подготовки бакалавров по направлению 28.03.02 «Наноинженерия», профиль «Инженерные нанотехнологии в приборостроении».

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ППЭНЭ.

Протокол № 5 от «14» января 2016 г.

Заведующий кафедрой ППЭНЭ

С.И. Рембеза

Рассмотрено и одобрено на заседании методической комиссии ФРТЭ.

Протокол № \_\_\_ от «22» января 2016 г.

Председатель методической комиссии ФРТЭ

А.Г. Москаленко

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	Целью изучения дисциплины «Материаловедение наноматериалов и наносистем» является формирование у обучающихся знаний в области наноматериалов — веществ и (или) композиций веществ, представляющих собой искусственно или естественно упорядоченную или неупорядоченную систему базовых элементов с нанометрическими характеристическими размерами и особым проявлением физического и (или) химического взаимодействий при кооперации наноразмерных элементов, обеспечивающего возникновение у материалов и систем совокупности ранее отсутствовавших механических, химических, электрофизических, оптических, теплофизических и других свойств, определяемых проявлением наномасштабных факторов
1.2	Для достижения цели ставятся задачи приобретения студентами знаний:
1.2.1	о влиянии размерных эффектов и поверхностей раздела на физико-химические, физические и механические свойства наноматериалов;
1.2.2	о методах получения наноматериалов;
1.2.3	об областях применения функциональных и конструкционных наноматериалов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Цикл (раздел) ОПОП: базовая часть		Код дисциплины в УП: Б1.Б.17
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося: Б1.Б.5 Физика Б1.Б.6 Химия Б1.Б.21 Введение в наноинженерию	
2.2	Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: Б1.В.ОД.9 «Процессы получения наноматериалов и наносистем» Б1.В.ОД.10 «Микроэлектромеханические системы» Б1.В.ОД.12 «Основы проектирования приборных устройств и систем» Б1.В.ДВ.6.1 «Микро- и наносистемы на базе 3D технологий» Б1.В.ДВ.6.2 «Микрооптоэлектромеханические системы»	

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Код и наименование компетенции	
ОПК-1	способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и экспериментального исследования;
ПК-3	способность проводить информационный поиск по отдельным объектам исследований

## В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБУЧАЮЩИЙСЯ ДОЛЖЕН

3.1	<b>Знать:</b> свойства и области применения нанодисперсных порошковых, фуллереновых, наноструктурных твердых, жидких и гель-образных материалов, наноразмерных элементов и объектов, наносистем (гетероструктур); основы нанотехнологии получения наноматериалов; основы нанотехнологии получения наноструктурных и градиентных упрочняющих, защитных и функциональных слоев и покрытий; основы технологических процессов синтеза композитных материалов (ПК-3)
3.2	<b>Уметь:</b> анализировать особенности нанопродуктов и нанотехнологий; составлять схемы технологического оборудования и приборов для нанотехнологических процессов (ОПК-1)

<b>3.3 Владеть:</b>	методами анализа особенностей наноматериалов и наносистем при составлении схем технологического оборудования и приборов для нанотехнологических процессов (ОПК-1)
---------------------	---

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость в часах				
			Лекции	Практ. занятия	Лаб. работы	СРС	Всего часов
1	Классификация материалов по техническому назначению, составу и свойствам.	1, 2	4		4	12	20
2	Виды наноматериалов: золи, гели, суспензии, коллоидные растворы, матрично-изолированные кластерные сверхструктуры, фуллерены, фуллереноподобные материалы, углеродные нанотрубки, полимеры, сверхрешетки, самоорганизующиеся среды	3—6	8		4	16	34
3	Свойства наноматериалов: механические, теплофизические, физико-химические, электрофизические, оптические	7—12	12		12	16	26
4	Физико-химия процессов синтеза наноструктурированных материалов	13—15	6		12	18	36
5	Применение наноматериалов	16—18	6		4	10	28
<b>Итого часов:</b>			<b>36</b>		<b>36</b>	<b>72</b>	<b>144</b>

##### 4.1 Лекции

Неделя семестра	Тема и содержание лекции	Объем часов
<b>1 Классификация материалов по техническому назначению, составу и свойствам</b>		
1	Введение. Классификация нанообъектов. Размерные эффекты и свойства нанообъектов.	2
2	Характерные особенности.	2
<b>2 Виды наноматериалов</b>		
3	Нанопористые материалы.	2
4	Аморфные материалы.	2
5	Углеродные наноструктуры.	2
6	Нанокomпозиционные материалы.	2
<b>3 Свойства наноматериалов</b>		
7, 8	Квантово-размерные структуры с двумерным, одномерным и нуль-мерным электронным газом (квантовые ямы, нити, точки).	4
9	Влияние квантования на электрофизические свойства материалов.	2
10, 11	Механика наноразмерных объектов.	4
12	Методы исследования наноматериалов.	2
<b>4 Физико-химия процессов синтеза наноструктурированных материалов</b>		
13	Одномерные наноструктуры: нанонити и наностержни. Самопроизвольный рост. Рост в результате испарения—конденсации. Рост по механизму «пар—жидкость—кристалл». Матричный (темплетный) синтез. Литография.	2
14	Двумерные наноструктуры: тонкие пленки. Основы роста пленок. Физическое и химическое осаждение из газовой фазы.	2
15	Осаждение атомных слоев. Самосборка. Пленки Ленгмюра—Блоджетт.	2

	Электрохимическое осаждение.	
<b>5 Применение наноматериалов</b>		
16	Применение наноматериалов в электронике и оптоэлектронике.	2
17	Одноэлектронные устройства на основе эффектов электронной интерференции и кулоновской блокады. Сверхрешетки.	2
18	Полупроводниковые нанотрубки.	2
<b>Итого часов:</b>		<b>36</b>

**4.2 Практические занятия** — не предусмотрены

#### 4.3 Лабораторные работы

Неделя семестра	Наименование лабораторной работы	Объем часов	Виды контроля	
<b>1. Классификация материалов по техническому назначению, составу и свойствам. Основы кристаллофизики и кристаллохимии наноматериалов</b>				
2	Получение фуллеренсодержащей смеси	4	Проверка отчета по лабораторной работе	
<b>2 Виды наноматериалов</b>				
4	Изучение углеродных нанотрубок	4		
<b>3 Свойства наноматериалов</b>				
6, 8 10	Исследование процесса эпитаксиального осаждения	12		
<b>4 Физико-химия процессов синтеза наноструктурированных материалов</b>				
12	Особенности получения атомарного разрешения с помощью ТСМ	4		
14	Особенности получения атомарного разрешения с помощью АСМ	4		
16	Метод вольт-амперных характеристик при изучении электронной структуры поверхности (сканирующая туннельная спектроскопия)	4		
<b>5 Применение наноматериалов</b>				
18	Применение наноматериалов	4		
<b>Итого часов:</b>		<b>36</b>		

#### 4.4 Самостоятельная работа студента (СРС)

Неделя семестра	Содержание СРС	Виды контроля	Объем часов
Номер семестра: 6			
3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17	Проработка материала лекций с использованием рекомендуемой литературы	Опрос	36
2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18	Подготовка к лабораторным работам	Ответы на контрольные вопросы	36
<b>Итого часов:</b>			<b>72</b>

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>В рамках изучения дисциплины предусмотрены следующие образовательные технологии:</b>	
5.1	Лекции
5.2	Лабораторные работы
5.3	Самостоятельная работа
5.4	Консультации по всем вопросам учебной программы

### 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

6.1	<b>Контрольные вопросы и задания:</b> для текущего контроля успеваемости используются контрольные вопросы, помещенные в конце каждой лабораторной работы
6.2	<b>Темы письменных работ</b> не предусмотрены
6.3	<b>Другие виды контроля</b> не предусмотрены

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Рекомендуемая литература				
№ п/п	Авторы/ составители	Заглавие	Вид и годы издания	Обеспеченность
7.1.1 Основная литература				
Л1.1	Андриевский Р.А.	Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011.	Учеб. пособие, 2011	0,5
Л1.2	Старостин В.В.	Материалы и методы нанотехнологий. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. 431 с	Учеб. пособие, 2010	1
Л.1.3	Рыжонков Д.И., Лёвина В.В., Дзидзигури Э.Л.	Наноматериалы. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 365 с.	Учеб. пособие, 2012	0,5
Л.1.4	Гочжун Цао, Ин Ван	Наноструктуры и наноматериалы. Синтез, свойства и применение. М.: Научный мир, 2012. 520 с.	Учеб. пособие, 2012	
7.1.2 Дополнительная литература				
Л2.1	Шахнов В.А., Панфилов Ю.В., Власов А.И.	Наноразмерные структуры: классификация, формирование и исследование. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.	Учеб. пособие, 2008	
Л2.2	Андриевский Р.А., Рагуля А.В.	Наноструктурные материалы. М.: ИЦ «Академия», 2005. 192 с.	Учеб. пособие, 2005	1
Л2.3	Евдокимов А.А.	Получение и исследование наноструктур: лабораторный практикум по нанотехнологиям. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.	Учеб. пособие, 2010	0,5
Л.2.4	Пул-мл. Ч., Оуэнс Ф.	Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2006. 336 с.	Учеб. пособие, 2006	1
Л.2.5	Ткачев А.Г., Золотухин И.В	Аппаратура и методы синтеза твердотельных наноструктур. М.: «Издательство Машиностроение-1», 2007. 316 с.	Монография, 2007	
7.1.3 Методические разработки				
Л3.1	Липатов Г.И.	Методические указания к выполнению лабораторной работы «Исследование процесса эпитаксиального осаждения кремния» по курсу «Технология производства ИЭТ». Воронеж: ВГТУ, 2005. 44 с.	Метод. указ., 2005	1
7.1.4 Программное обеспечение и Интернет-ресурсы				
<a href="http://perst.issp.ras.ru">http://perst.issp.ras.ru</a> — информационный бюллетень «Перспективные технологии» <a href="http://www.nanonewsnet.ru">http://www.nanonewsnet.ru</a> — сайт аналитического агентства Nanotechnology News Network <a href="http://www.nanodigest.ru">http://www.nanodigest.ru</a> — интернет-журнал о нанотехнологиях <a href="http://www.nano-info.ru">http://www.nano-info.ru</a> — сайт о современных достижениях в области микро- и нанотехнологий <a href="http://www.nanometer.ru">http://www.nanometer.ru</a> — сайт нанотехнологического сообщества ученых <a href="http://www.nano-portal.ru">http://www.nano-portal.ru</a> — портал, посвященный теме развития нанотехнологий и их внедрения в производство				

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1	Учебный компьютерный класс, оснащенный компьютерными программами для выполнения расчетов, и рабочими местами для самостоятельной подготовки обучающихся с выходом в Интернет
8.2	Технологическое оборудование
8.3	Контрольно-измерительное оборудование

## 9. СТРУКТУРА И СОСТАВ ФОНДОВ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Фонды оценочных средств по дисциплине представляют собой перечень вопросов для рейтинговых и контрольных мероприятий.

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 эндодрального комплекса.
23. Почему стекло с примесью золота имеет красный цвет?
24. Что такое нанокмпозиционный 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.
42. Какие устройства относятся к нанопотонным:
- использующие оптоэлектронные приборы с размером областей более  $10^{-6}$ ;
  - использующие оптоэлектронные приборы с размером областей менее  $10^{-6}$ ;
  - использующие оптоэлектронные приборы с размером областей более  $10^{-7}$ ;
  - использующие оптоэлектронные приборы с размером областей менее  $10^{-7}$ ?
43. Какие наноструктуры называют квантовыми ямами:
- 3D;
  - 2D;
  - 1D;
  - 0D?
44. Какие наноструктуры называют квантовыми точками:
- 3D;
  - 2D;
  - 1D;
  - 0D?
45. Какой спектр характерен для квантовой точки:
- аналогичный спектру малоатомного кластера;
  - аналогичный спектру малоатомной молекулы;
  - аналогичный спектру квантовой ямы;
  - аналогичный спектру одиночного атома?
46. Зависят ли свойства полупроводниковых наночастиц от их размера:
- не зависят;
  - с уменьшением размеров спектр поглощения не меняется;
  - с уменьшением размеров спектр поглощения сдвигается в красную сторону;
  - с уменьшением размеров спектр поглощения смещается в голубую сторону?
47. Какими оптическими свойствами обладают металлические нанокластеры:
- более широкой полосой спектра поглощения, чем массивные материалы;
  - более узкой полосой спектра поглощения, чем массивные материалы;
  - постоянной диэлектрической проницаемостью;
  - комплексной диэлектрической проницаемостью?
48. Каких размеров может быть экситон полупроводникового нанокластера?
- гораздо меньше кластера;
  - сравнимым с кластером;
  - больше кластера;
  - гораздо больше кластера?

**«УТВЕРЖДАЮ»**  
Председатель ученого совета ФРТЭ

\_\_\_\_\_ В.А. Небольсин

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 г.

**Лист регистрации изменений (дополнений) УМКД  
«Материаловедение наноматериалов и наносистем»**

В УМКД вносятся следующие изменения (дополнения):

---

---

---

---

Изменения (дополнения) в УМКД обсуждены на заседании кафедры полупроводниковой электроники и нанoeлектроники

Протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ

С.А. Рембеза

Изменения (дополнения) рассмотрены и одобрены методической комиссией ФРТЭ

Председатель методической комиссии ФРТЭ

А.Г. Москаленко

«Согласовано»

С.А. Рембеза

## Карта обеспеченности рекомендуемой литературой

№ п/п	Авторы/ составители	Заглавие	Вид и годы издания	Обеспеченность
<b>1. Основная литература</b>				
Л1.1	Андриевский Р.А.	Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011.	Учеб. пособие, 2011	0,5
Л1.2	Старостин В.В.	Материалы и методы нанотехнологии. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011.	Учебник, 2011	1
Л1.3	Рыжонков Д.И., Лёвина В.В., Дзидзи- гури Э.Л.	Наноматериалы. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 365 с.	Учеб. пособие, 2012	0,5
<b>2. Дополнительная литература</b>				
Л2.1	Андриевский Р.А., Рагуля А.В.	Наноструктурные материалы. М.: ИЦ «Академия», 2005. 192 с.	Учеб. пособие, 2005	1
Л2.2	Евдокимов А.А.	Получение и исследование наноструктур: лабораторный практикум по нанотехнологиям. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.	Учеб. пособие, 2010	0,5
Л2.3	Пул-мл. Ч., Оуэнс Ф.	Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2006. 336 с.	Учеб. пособие, 2006	1
<b>3. Методические разработки</b>				
Л3.1	Липатов Г.И.	Методические указания к выполнению лабораторной работы «Исследование процесса эпитаксиального осаждения кремния» по курсу «Технология производства ИЭТ». Воронеж: ВГТУ, 2005. 44 с.	Метод. указ., 2005	1

Зав. кафедрой ППЭНЭ

С.И. Рембеза

Директор НТБ

Т.И. Буковшина

### Лист регистрации изменений

Порядковый номер изменения	Раздел, пункт	Вид изменения (заменить, аннулировать, добавить)	Номер и дата приказа об изменении	Фамилия и инициалы, подпись лица, внесшего изменение	Дата внесения изменения