

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 21.07.2025 15:23:21
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП



Е.М. Семенова

«24»

июня

2025 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

Нанотехнологии в физике конденсированного состояния

Направление подготовки

03.03.02 Физика

профиль

Физика конденсированного состояния вещества

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

Составитель: д.ф.-м.н., профессор Солнышкин А.В.

Тверь, 2025

I. Аннотация

1. Цель и задачи дисциплины

Целью дисциплины является описание физических свойств и изучение структуры твердотельных наноматериалов, технологий их изготовления и методов исследования наномасштабных структур, а также рассмотрение различных аспектов их практического применения.

Задачами освоения дисциплины являются:

- формирование представления об основных понятиях и идеях нанотехнологий в физике конденсированного состояния;
- обзор нанотехнологических процессов создания наноматериалов;
- рассмотрение основных тенденций развития нанотехнологий;
- знакомство с современными экспериментальными средствами исследования материалов с нанометровым пространственным разрешением;
- подготовка студентов к изучению, в случае необходимости, специальных обзоров и оригинальных работ по отдельным вопросам данной области знания.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Нанотехнологии в физике конденсированного состояния» изучается в модуле Физика конденсированного состояния Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Содержательно она закладывает основы знаний для изучения физических свойств и структуры твердотельных наноматериалов, технологий их изготовления и методов исследования наномасштабных структур. Учебная дисциплина непосредственно связана с дисциплинами «Физика конденсированного состояния вещества», «Кристаллография», «Физика поверхности и низкоразмерных систем», «Физико-химические основы микро- и нанотехнологий».

Уровень начальной подготовки обучающегося для успешного

освоения дисциплины «Нанотехнологии в физике конденсированного состояния»: иметь представление о строении и об основных свойствах конденсированных сред; знать материал общефизических и математических дисциплин, курс химии и основные понятия кристаллографии.

3. Объем дисциплины: 3 зачетные единицы, 108 академических часов, в том числе:

контактная аудиторная работа: лекции 39 часов, практические занятия 26 часов;

самостоятельная работа: 43 часа, в том числе контроль 27 часов.

4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-2. Способен выполнять экспериментальную работу в области физики и оформлять результаты исследований и разработок.	ПК-2.2. Анализирует физические явления и процессы в области физики конденсированного состояния и составляет отчет по теме исследования или по результатам проведенных экспериментов.
ПК-3. Способен сопровождать типовые технологические процессы в области материаловедения и технологии материалов	ПК-3.1. Осуществляет анализ структуры материалов;

5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

Экзамен в 8 семестре.

6. Язык преподавания: русский.

II. Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Лабораторные занятия	
Основные понятия, определения, терминология, классификация Введение. Понятие о нанотехнологии. Классификация нанообъектов. Размерные эффекты и свойства нанообъектов. Определение наночастицы. Свойства индивидуальных наночастиц. Характерные особенности нанообъектов.	4	2		2
Углеродные наноструктурированные материалы Основные физико-химические свойства углерода, углеродная связь, ее природа. Новые углеродные структуры. Углеродные кластеры: малые углеродные кластеры; фуллерен C ₆₀ ; структура фуллерена C ₆₀ и его кристаллов; C ₆₀ , легированный щелочными металлами; сверхпроводимость в C ₆₀ ; фуллерены с числом атомов, большим или меньшим 60. Углеродные нанотрубки: структура одностенных и многослойных нанотрубок; методы их получения; механические, электрические и колебательные свойства; дефекты в структуре нанотрубок и их влияние на физические свойства; применение углеродных нанотрубок. Графен: двумерная структура, основные свойства, применение.	11	4	3	4
Объемные наноструктурированные материалы Разупорядоченные твердотельные структуры: строение, свойства, методы синтеза. Наноструктурированные многослойные материалы. Наноструктурированные кристаллы: природные нанокристаллы, теоретическое предсказание кристаллических решеток из нанокластеров,	7	4	2	1

кристаллы из металлических наночастиц, наноструктурированные кристаллы для фотоники. Нанокompозиты и нанопористые материалы.				
Квантовые ямы, проволоки и точки Методы формирования квантовых наноструктур. Эффекты, обусловленные размерами и размерностью нанообъектов: размерные эффекты; размерность объекта и электроны проводимости; Ферми-газ и плотность состояний; потенциальные ямы; частичная локализация; свойства, зависящие от плотности состояний. Одноэлектронное туннелирование. Применение квантовых наноструктур: инфракрасные детекторы, лазеры на квантовых точках. Сверхпроводимость квантовых наноструктур.	10	4	4	2
Методы зондовой нанотехнологии Технологическое оборудование для исследования поверхности твердых тел и создания наноструктур: общие принципы работы сканирующих зондовых микроскопов; нанотехнологический комплекс; сканирующий туннельный микроскоп (СТМ); атомно-силовой микроскоп (АСМ); другие сканирующие микроскопы. Методы создания наноструктур с помощью СЗМ. Физические эффекты, используемые в туннельно-зондовой нанотехнологии. Методы записи информации, основанные на изменении: геометрического рельефа поверхности, магнитной структуры поверхности, спонтанной поляризации в сегнетоэлектриках.	24	4	16	4
6. Методы нанолитографии Общие сведения. Рентгеновская, электронная и ионная литографии. Возможности пучковых методов литографии. Зондовые методы нанолитографии (СЗМ-литография). Литография наносферами. Нанопечатная литография (НПЛ). Литографически индуцированная самосборка наноструктур (ЛИС).	16	4	8	4
Итого	72	22	33	17

III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

- планы лабораторных занятий и методические рекомендации к ним;
- методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов;
- методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов
- требования к рейтинг-контролю.

IV. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Форма проведения зачета: студенты, освоившие программу курса могут получить зачет по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то зачет сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

Наряду с другими дисциплинами учебного плана дисциплина «Нанотехнологии в физике конденсированного состояния вещества» участвует в формировании общепрофессиональной компетенции ОПК-3 «Способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач» и профессиональной компетенции ПК-3 «Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований»

Зачет

Зачет выставляется по результатам рейтинг-контроля. Студентам, не набравшим необходимое число баллов (50), предоставляется возможность

ответить на дополнительные вопросы и выполнить дополнительные задания из банка вопросов и заданий, приведенного ниже.

Шкала оценивания: Максимальная оценка каждого студента по итогам ответа на вопросы и результатам выполнения задания составляет 50 баллов. Она складывается из оценки уровня знаний (максимум 25 баллов), умений (максимум 15 баллов) и владений (максимум 10 баллов).

1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности общепрофессиональной компетенции ОПК-3 «Способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач»

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
Начальный владеть	Продемонстрировать навыки владения материалом по описанию свойств наноматериалов. <u>Пример.</u> Рассмотреть основные причины особого поведения материалов при уменьшении их размера до нанометрового масштаба	1 уровень – называет основные причины без описания их влияния на свойства (1 балл). 2 уровень – детально описывает основные причины особого поведения материалов при уменьшении их размера до нанометрового масштаба (2 балла).
Начальный уметь	Продемонстрировать умение выполнить задания по описанию свойств наноматериалов. <u>Пример.</u> Описать эффекты взаимодействия электронов с веществом.	1 уровень – названы основные эффекты, не раскрыта их сущность (1 балл). 2 уровень – полностью описаны эффекты взаимодействия электронов с веществом с указанием сущности явлений (2 балла).

Начальный знать	Продemonстрировать знания по описанию свойств наноматериалов. <u>Пример.</u> Описать структуру основных наноматериалов на основе углерода.	1 уровень – правильно названы типы основных наноматериалов на основе углерода (1 балл). 2 уровень – полностью описана структура основных наноматериалов на основе углерода. (2 балла).
Промежуточный владеть	Продemonстрировать навыки владения материалом по исследованию свойств наноматериалов. <u>Пример.</u> Описать основные типы хиральности углеродных нанотрубок и соответствующие свойства электропроводности	1 уровень – названы только типы хиральности (1 балл). 2 уровень – рассмотрена электропроводность углеродных нанотрубок (2 балла). 3 уровень – полностью описаны основные типы хиральности углеродных нанотрубок и соответствующие свойства электропроводности (3 балла).
Промежуточный уметь	Продemonстрировать умение выполнить задания по исследованию свойств наноматериалов. <u>Пример.</u> Описать сравнительные характеристики различных микроскопических методов исследования свойств наноматериалов	1 уровень – названы микроскопические методы исследования свойств наноматериалов (1 балл). 2 уровень – приведены сравнительные характеристики различных микроскопических методов исследования без детализации физической сущности методов исследования (2 балла). 3 уровень – полностью описаны сравнительные характеристики различных микроскопических методов исследования свойств наноматериалов (3 балла).
Промежуточный знать	Продemonстрировать знания по исследованию свойств наноматериалов. <u>Пример.</u> Рассмотреть структуру и свойства	1 уровень – дается определение, что такое фотонный кристалл (1 балл). 2 уровень – рассмотрена

	фотонных кристаллов	структура фотонных кристаллов, без описания физических эффектов (2 балла). 3 уровень – полностью описаны структура и свойства фотонных кристаллов (3 балла)
--	---------------------	--

Список вопросов и заданий для проверки уровня сформированности общепрофессиональной компетенции ОПК-3 «Способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач»

Для оценивания результатов обучения в виде владений предлагается рассмотреть следующие темы:

1. Место объектов наномира на общей шкале размеров.
2. Пространственная размерность нанообъектов.
3. Две основные причины особого поведения материалов при уменьшении их размера до нанометрового масштаба.
4. Два основных подхода к получению наноструктур.
5. Особые свойства углерода, обуславливающие формирование из него разнообразных наноструктур.
6. Структура графита.
7. Структура алмаза.
8. Структура фуллеренов C_{60} и C_{70} .
9. Минимальный возможный фуллерен и его структура.
10. Формула Эйлера для сфероидов, построенных из правильных многоугольников.
11. Методы получения фуллеренов.
12. Роль инертных газов при получении фуллеренов.
13. Термическая стабильность фуллеренов в вакууме и в присутствии окислителей.
14. Эндоедральные структуры фуллеренов и методы их получения.
15. Применения фуллеренов.
16. Структура углеродных нанотрубок.
17. Типы углеродных нанотрубок и образований из них.
18. Основные типы хиральности углеродных нанотрубок и соответствующие свойства электропроводности.
19. Механические колебания многослойных углеродных нанотрубок.

20. Дефекты в структуре углеродных нанотрубок и их влияние на форму нанотрубок и проводимость.
21. Методы получения углеродных нанотрубок.
22. Стадии очистки углеродных нанотрубок.
23. Сравнительные свойства окисления углеродных нанотрубок и фуллеренов.
24. Способы открытия концов углеродных нанотрубок.
25. Электрические свойства углеродных нанотрубок.
26. Магнитные свойства углеродных нанотрубок.
27. Механические свойства углеродных нанотрубок.

Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается выполнить следующие задания:

1. Рассмотреть устройство и принцип работы одноэлектронного транзистора.
2. Описать параллелизм вычислений в квантовых компьютерах.
3. Представить типы задач, решаемые на квантовых компьютерах.
4. Рассмотреть основные применения наноматериалов в медицине.
5. Описать сравнительные характеристики различных микроскопических методов по рабочей среде, типу изображения и повреждающего воздействия.
6. Продемонстрировать устройство и принцип действия сканирующего туннельного микроскопа.
7. Рассмотреть ограничения сканирующего туннельного микроскопа.
8. Описать режим постоянного тока сканирующего туннельного микроскопа.
9. Описать режим постоянной высоты сканирующего туннельного микроскопа.
10. Охарактеризовать устройство и принцип действия сканирующего атомно-силового микроскопа.
11. Пояснить режим постоянной высоты в контактной атомно-силовой микроскопии.
12. Описать режим постоянной силы в контактной атомно-силовой микроскопии.
13. Продемонстрировать роль обратной связи при работе в режиме постоянной силы в контактной атомно-силовой микроскопии.
14. Охарактеризовать смысл сигнала ошибки при работе в контактной атомно-силовой моде в режиме постоянной силы.
15. Описать основные типы сканеров, применяемых в сканирующей зондовой микроскопии.

16. Представить основные типы кантилеверов, используемых в контактной и бесконтактной атомно-силовых модах сканирующего зондового микроскопа.
17. Описать параметры, влияющие на качество изображений, получаемых в контактной и бесконтактной атомно-силовых модах.
18. Рассмотреть микроскопию поперечных сил.
19. Описать микроскопию модуляции сил.
20. Описать бесконтактную атомно-силовую микроскопию.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний предлагается ответить на следующие вопросы:

1. Что такое нанотехнологии?
2. Что такое наноконсолидированные материалы?
3. Перечислите ключевые фигуры из истории развития нанотехнологий.
4. Возможно ли получение атомарного разрешения с использованием атомно-силового микроскопа?
5. Возможно ли получение атомарного разрешения поверхности диэлектрика с использованием сканирующего туннельного микроскопа?
6. Относится ли самосборка к подходу сверху-вниз получения наноструктур?
7. Чем отличается автосборка от самосборки?
8. Приведите несколько реальных примеров применения наноматериалов.
9. Что такое фуллероид?
10. Что такое фуллерит и какова его структура?
11. Фазовые превращения в фуллеритах.
12. Что такое интеркалированные соединения фуллеренов?
13. Что такое фуллерид и какова его структура?
14. С чем связана повышенная прочность нанокристаллических материалов?
15. Особая структура межзеренных границ нанокристаллических материалов.
16. Какова доля нанокристаллического вещества, приходящаяся на межзеренные границы?
17. Каково изменение структуры зерна нанокристаллического материала с уменьшением его размера?
18. Чем заменяется ферромагнетизм при переходе к нанометровым размерам?
19. Что такое суперпарамагнетизм?

20. Какова зависимость коэрцитивной силы наноферромагнетиков от размера частиц?
21. В чем заключается эффект гигантского магнитосопротивления?
22. Как работает нанопечатная литография?
23. Что такое литографически индуцированная самосборка?
24. Что такое молекулярные нанотехнологии?
25. Что такое молекулярный ассемблер? Его задачи.

2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности профессиональной компетенции ПК-3 «Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований»

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
Начальный владеть	Продemonстрировать навыки владения материалом по технологиям формирования наноматериалов <i>Пример.</i> Описать методы формирования наноразмерных пленок	1 уровень – называет методы формирования сверхтонких пленок (1 балл). 2 уровень – детально описывает физические методы формирования наноразмерных пленок (2 балла).
Начальный уметь	Продemonстрировать умение выполнить задания по технологиям формирования наноматериалов. <i>Пример.</i> Рассмотреть физические аспекты нанопечатной литографии	1 уровень – дано определение нанопечатной литографии (1 балл). 2 уровень – полностью рассмотрены физические аспекты нанопечатной литографии (2 балла).
Начальный знать	Продemonстрировать знания по технологиям формирования наноматериалов. <i>Пример.</i> Охарактеризовать технологии получения наноматериалов	1 уровень – названы технологии «снизу-вверх» и «сверху-вниз» (1 балл). 2 уровень – полностью охарактеризованы технологии «снизу-вверх» и «сверху-вниз» и приведены

		примеры (2 балла).
Промежуточный владеть	Продemonстрировать навыки владения материалом по инструментам нанотехнологий. <u>Пример.</u> Описать основные типы сканеров, применяемых в сканирующей зондовой микроскопии.	1 уровень – перечисляет основные типы сканеров (1 балл). 2 уровень – перечисляет основные типы сканеров с указанием физических аспектов их применения (2 балла). 3 уровень – полностью основные типы сканеров, применяемых в сканирующей зондовой микроскопии (3 балла).
Промежуточный уметь	Продemonстрировать умение выполнить задания по инструментам нанотехнологий. <u>Пример.</u> Описать режимы работы атомно-силовой микроскопии.	1 уровень – названы режимы работы атомно-силовой микроскопии (1 балл). 2 уровень – описаны режимы работы атомно-силового микроскопа с некоторыми ошибками (2 балла). 3 уровень – дается верное описание всех режимов работы атомно-силового микроскопа (3 балла).
Промежуточный знать	Продemonстрировать знания по инструментам нанотехнологий. <u>Пример.</u> Описать принцип работы просвечивающего электронного микроскопа	1 уровень – дано определение электронной микроскопии (1 балл). 2 уровень – рассмотрены физические эффект, используемые в работе электронного микроскопа (2 балла). 3 уровень – детально описан принцип работы просвечивающего электронного микроскопа (3 балла)

Список вопросов и заданий для проверки уровня сформированности профессиональной компетенции ПК-3 «Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований»

Для оценивания результатов обучения в виде владений предлагается рассмотреть следующие темы:

1. Перечислите основные применения углеродных нанотрубок.
2. Структура нанотрубок дисульфида вольфрама.
3. Структура нанокристаллических материалов.
4. Сравнительные характеристики структуры нанокристаллических материалов с макроскопическими моно- и поликристаллами, а также с аморфными материалами.
5. Методы получения нанокристаллических материалов.
6. Способы получения беспористых нанокристаллических материалов.
7. Недостатки метода интенсивных пластических деформаций для получения нанокристаллических материалов.
8. Особенности рекристаллизации нанокристаллических материалов.
9. Диффузионные свойства нанокристаллических материалов.
10. Суперпластичность нанокристаллических материалов и ее применение.
11. Структура цеолитов и их применение.
12. Особенности наноферромагнетиков.
13. Основные стадии процесса синтеза белков.
14. Основные стадии трансляции в процессе синтеза белков.
15. Недостатки искусственных биомашин с точки зрения молекулярных нанотехнологий.
16. Устройство и принцип работы ДНК чипов.
17. Примеры молекулярных машин среди супрамолекулярных систем.
18. Описание эксперимента по проводимости отдельных молекул.
19. Основные узлы нанофабрики.
20. Идея конструкционного тумана.
21. Методы управления доменной структурой сегнетоэлектриков на нанометровом масштабе.
22. Первый закон Мура.
23. Классификация объектов по размерности локализации – делокализации.
24. Плотность состояний для структур с различной размерностью локализации.
25. Методы изготовления квантовых ям, проволок и точек.
26. Самосборка квантовых точек.
27. Механизмы роста тонких пленок.

Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается выполнить следующие задания:

1. Рассмотреть режим фазового контраста в бесконтактной атомно-силовой микроскопии.
2. Охарактеризовать преимущества оптической микроскопии по сравнению с другими типами микроскопии.
3. Рассмотреть дифракционный предел оптической микроскопии.
4. Описать способы преодоления дифракционного предела.
5. Охарактеризовать устройство и принцип работы сканирующего лазерного конфокального микроскопа.
6. Составить сравнение горизонтального и вертикального разрешения у обычного оптического и конфокального микроскопов.
7. Рассмотреть принцип построения трехмерного изображения с помощью конфокальной микроскопии.
8. Описать устройство и принцип работы сканирующего оптического микроскопа ближнего поля.
9. Показать особенности ближнепольного оптического излучения.
10. Охарактеризовать типы зондов для сканирующего оптического микроскопа ближнего поля.
11. Пояснить осуществление контроля расстояния до поверхности в сканирующем оптическом микроскопе ближнего поля.
12. Описать возможные типы контрастов в сканирующем оптическом микроскопе ближнего поля.
13. Пояснить отличия сканирующего электронного микроскопа от просвечивающего.
14. Рассмотреть факторы, ограничивающие разрешение электронного микроскопа (просвечивающего и сканирующего).
15. Описать эффекты взаимодействия электронов с веществом.
16. Пояснить типы вторичных эффектов при взаимодействии электронов с веществом.
17. Описать принцип работы электронной пушки.
18. Охарактеризовать различие полевой эмиссионной и термической электронных пушек.
19. Рассмотреть характерную величину энергий электронов в сканирующем электронном микроскопе.
20. Рассмотреть характерную величину энергии электронов в просвечивающем электронном микроскопе (обычном и высоковольтном).

Для оценивания результатов обучения в виде знаний предлагается ответить на следующие вопросы:

1. Пример биологического ассемблера.
2. Что такое белок? Из чего он состоит?
3. Структура ДНК. Что такое ген?
4. Что такое фотонный кристалл?
5. Что такое квантовый компьютер?
6. Как называется принцип сборки наноструктур с помощью сканирующего зондового микроскопа?
7. Что такое квантовый мираж?
8. О чем говорит соотношение де-Бройля?
9. В чем различие двух основных режимов работы просвечивающего электронного микроскопа?
10. Принцип работы просвечивающего электронного микроскопа высокого разрешения.
11. Сигналы, детектируемые в сканирующем электронном микроскопе.
12. Определение чистого помещения.
13. Как оценивается концентрация частиц в турбулентно-вентилируемом чистом помещении?
14. Что такое нанофотоника?
15. Три раздела нанофотоники.
16. Что такое затухающие волны?
17. Характерный масштаб расстояний проникновения затухающих волн в видимом диапазоне.
18. Что такое поверхностный плазмонный резонанс?
19. Определение фотонного кристалла.
20. Типы микро- и нанолиитографии.
21. Основные этапы фотолитографии.
22. Два типа фоторезистов.
23. Выражение для зависимости предельного разрешения фотолитографии от длины волны.
24. Преимущества и недостатки электронной литографии с прямой записью электронным пучком.

V. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) Основная литература:

1. Введение в нанотехнологию : учебник / В. И. Марголин, В. А. Жабрев, Г. Н. Лукьянов, В. А. Тупик. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 464 с. — ISBN 978-5-8114-1318-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/168460>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Пул-мл. Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии: учеб. пособие. М: Техносфера, 2005. – 336 с.
3. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. - 134 с.
4. Нанотехнологии / Под ред. Ю.Д. Третьякова. М: ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 368 с.
5. Рыжонков Д.И., Левина В.В., Дзидзигури Э.Л. Наноматериалы. М: Бином. Лаборатория знаний, 2010. - 365 с.
6. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М: Физматлит, 2005. - 410 с.
7. Алексенко, А. Г. Графен : учебное пособие / А. Г. Алексенко. — 3-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 179 с. — ISBN 978-5-93208-509-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/166728>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) Дополнительная литература:

1. Основы нанотехнологии : учебник / Н. Т. Кузнецов, В. М. Новоторцев, В. А. Жабрев, В. И. Марголин ; художник И. Е. Марев. — 3-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 400 с. — ISBN 978-5-906828-26-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/176415>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Мишина, Е. Д. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям : учебное пособие : учебное пособие / Е. Д. Мишина, Н. Э. Шерстюк, А. А. Евдокимов ; под редакцией А. С. Сигова. — 6-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 187 с. — ISBN 978-5-93208-545-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/166740>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Суздалев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М: URSS, 2006. - 589 с.
4. Лозовский В.Н. Нанотехнология в электронике. СПб., Москва, Краснодар: Лань, 2008. - 327 с.
5. Неволин В. К. Зондовые нанотехнологии в электронике. М: Техносфера, 2005. - 148 с.
6. Лозовский, В. Н. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность : учебное пособие / В. Н. Лозовский, С. В. Лозовский. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 332 с. — ISBN 978-5-8114-3986-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/113943>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Иванов, Н. Б. Нанотехнологии материалов и покрытий : учебное пособие / Н. Б. Иванов, Н. А. Покалюхин. — Казань : КНИТУ, 2019. — 236 с. — ISBN 978-5-7882-2538-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/166186>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Электронные библиотечные системы:

1. ЭБС «ИНФРА-М» <http://www.znaniium.com>
2. ЭБС «Университетская библиотека ОН-ЛАЙН» <http://www.biblioclub.ru>
3. ЭБС «ЛАНЬ» <http://e.lanbook.com>
4. Сайт <http://www.nanometer.ru/>
5. Сайт <http://www.nanonewsnet.ru>
6. Сайт <http://www.nanorf.ru>
7. Учебно-методический комплекс дисциплины "Введение в нанотехнологии" <http://elar.usu.ru/handle/1234.56789/1317>

VII. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

1) Планы лабораторных занятий и методические рекомендации к ним.

Лабораторные занятия включают в себя экспериментальное или теоретическое исследование свойств и процессов в полупроводниковых материалах и структурах на их основе, а также его обсуждение в группе.

Тема 1. Углеродные наноструктурированные материалы.

Вопросы для обсуждения:

1. Основные физико-химические свойства углерода, углеродная связь, ее природа.
2. Углеродные кластеры: малые углеродные кластеры; фуллерен C_{60} ; структура фуллерена C_{60} и его кристаллов.
3. Углеродные нанотрубки: структура одностенных и многослойных нанотрубок; методы их получения; механические, электрические и колебательные свойства; дефекты в структуре нанотрубок и их влияние на физические свойства; применение углеродных нанотрубок.
4. Графен: двумерная структура, основные свойства, применение.

Тема 2. Объемные наноструктурированные материалы.

Вопросы для обсуждения:

1. Разупорядоченные твердотельные структуры: строение, свойства, методы синтеза.
2. Наноструктурированные кристаллы: природные нанокристаллы, теоретическое предсказание кристаллических решеток из нанокластеров.
3. Наноккомпозиты и нанопористые материалы.

Тема 3. Квантовые ямы, проволоки и точки.

Вопросы для обсуждения:

1. Методы формирования квантовых наноструктур.
2. Эффекты, обусловленные размерами и размерностью нанобъектов.
3. Применение квантовых наноструктур: инфракрасные детекторы, лазеры на квантовых точках.

Тема 4. Методы зондовой нанотехнологии.

Вопросы для обсуждения:

1. Технологическое оборудование для исследования поверхности твердых тел и создания наноструктур.
2. Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ). Атомно-силовой микроскоп (АСМ).
3. Физические эффекты, используемые в туннельно-зондовой нанотехнологии.
4. Методы записи информации.

Тема 5. Методы нанолитографии.

Вопросы для обсуждения:

1. Рентгеновская, электронная и ионная литографии.
2. Зондовые методы нанолитографии (СЗМ-литография).
3. Нанопечатная литография (НПЛ).
4. Литографически индуцированная самосборка наноструктур (ЛИС).

2) Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:

Самостоятельная работа студентов предполагает:

- обязательное выполнение домашних заданий, предусмотренных лекционными и лабораторными занятиями;
- углубленное изучение литературы и решение задач по пройденным темам и по вопросам, дополнительно указанным преподавателем;
- использование материалов рабочей программы для систематизации знаний и подготовке к занятиям и контрольным работам.

Перечень вопросов для систематизации знаний:

1. Понятие о нанотехнологиях. Классификация нанообъектов.

2. Размерные эффекты и свойства нанообъектов. Свойства индивидуальных наночастиц.
3. Основные физико-химические свойства углерода, углеродная связь, ее природа.
4. Углеродные кластеры: малые углеродные кластеры; фуллерен C_{60} ; структура фуллерена C_{60} и его кристаллов; C_{60} , легированный щелочными металлами. Фуллерены с числом атомов, большим или меньшим 60. Сверхпроводимость в фуллеренах.
5. Углеродные нанотрубки (УНТ): структура одностенных и многослойных нанотрубок, методы их получения.
6. Механические, электрические и колебательные свойства УНТ.
7. Дефекты в структуре нанотрубок и их влияние на физические свойства. Применение углеродных нанотрубок.
8. Графен как двумерная структура. Основные свойства графена и его применение.
9. Разупорядоченные твердотельные структуры: строение, свойства, методы синтеза.
10. Наноструктурированные многослойные материалы.
11. Наноструктурированные кристаллы. Теоретическое предсказание кристаллических решеток из нанокластеров.
12. Кристаллы из металлических наночастиц. Наноструктурированные кристаллы для фотоники.
13. Нанокompозиты и нанопористые материалы: методы получения и основные свойства.
14. Методы формирования квантовых наноструктур (квантовых ям, нитей и точек).
15. Размерные эффекты в нанообъектах: размерность объекта и электроны проводимости, Ферми-газ и плотность состояний, потенциальные ямы, частичная локализация.

16. Свойства, зависящие от плотности состояний в квантовых наноструктурах. Одноэлектронное туннелирование.
17. Применение квантовых наноструктур. Сверхпроводимость квантовых наноструктур.
18. Технологическое оборудование для исследования поверхности твердых тел, структуры наноматериалов и создания нанообъектов.
19. Общие принципы работы сканирующих зондовых микроскопов. Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ). Атомно-силовой микроскоп (АСМ).
20. Методы создания наноструктур с помощью сканирующей зондовой микроскопии. Физические эффекты, используемые в туннельно-зондовой нанотехнологии.
21. Методы записи информации, основанные на изменении: геометрического рельефа поверхности, магнитной структуры поверхности, спонтанной поляризации в сегнетоэлектриках.
22. Рентгеновская, электронная и ионная литографии. Возможности пучковых методов литографии.
23. Зондовые методы нанолитографии (СЗМ-литография). Литография наносферами.
24. Нанопечатная литография (НПЛ). Литографически индуцированная самосборка наноструктур (ЛИС).

3) Требования к рейтинг-контролю

Результаты промежуточной аттестации выставляются на основе текущего контроля успеваемости (рейтинг-контроль, баллы за выполненные практические задания суммируются) и по результатам зачета.

Рейтинг

1. Первая контрольная точка. Содержание модуля 1: Раздел 1 – 3.

40 баллов, из них 20 – текущая работа, 10 – посещаемость, 10 – контрольная работа. 9-ая неделя.

2. Вторая контрольная точка. Содержание модуля 2: Раздел 4 – 7.

60 баллов, из них 40 – текущая работа, 10 – посещаемость, 10 – контрольная работа. 18-ая неделя

Критерии: работа на каждом лабораторном занятии – по 5 баллов (текущая работа), правильный ответ на один вопрос контрольной работы – 2 балла.

Программой предусматривается выполнение письменных контрольных работ и отчеты о выполнении студентами заданий на лабораторных занятиях в качестве форм рубежного контроля в конце каждого модуля. Для подготовки к рубежному контролю предполагается выполнение домашних заданий по каждой пройденной в течение модуля теме и использование банка контрольных вопросов и заданий рабочей программы.

VIII. Перечень педагогических и информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (или модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (по необходимости)

1. Лекции и практические занятия проводятся в аудиториях, оснащенных мультимедийной техникой. DLP проектор для демонстрации презентаций и учебных фильмов,
2. доступ к сети Интернет

IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Наименование специальных* помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Учебная аудитория № 218 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1. Комплект учебной мебели на 25 посадочных мест. 2. Экран настенный 153х203 3. Переносной комплект мультимедийной техники.	Adobe Acrobat Reader DC – бесплатно Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. Google Chrome – бесплатно MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017
Лаборатория твердотельной электроники № 247 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1 Научно-учебный программно-аппаратный комплекс для микроанализа и морфологического анализа поверхности и для подготовки кадров по основам нанотехнологии NanoEducator2 2 Импульсный анализатор температуропроводности XFA 500LT 3 Нетбук Lenovo IdeaPadG560L-i352 15.6 WXGA LED Ci-350 (2.26 GHz) DVD RW WiFi 4 Осциллограф цифровой GDS-2102, 2 канала x 100МГц/USB/Good Wi11 5 Мультиметр цифровой True RMS\Uni Trend 6 Мультиметр цифровой True RMS\Uni Trend 7 Компьютер: Системный блок iRU Corp 510GT520-1024/DVD-RW/W7/Монитор ViewSonic TFT 21,5"/клав.,мышь Oklick.коврик 8 Компьютер: Системный блок iRU Corp 510GT520-1024/DVD-RW/W7/Монитор ViewSonic TFT 21,5"/клав.,мышь Oklick.коврик 9 Весы лабораторные ВЛ-120 с гирей калибровочной 100гЕ2 10 МФУ Canon лазерный i-Sensys	Google Chrome – бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017

	MF4410 11 Газовый лазер ГН-2П, излуч. № 2803, ОП ИП №1076 12 Мультиметр цифровой настольный профессиональный MS8040 13 Осциллограф цифровой ATTEN ADS 1042 CML 14 Осциллограф цифровой ATTEN ADS 1202 CAL 15 Цифровой осциллограф ZET-302 16 Модуль АЦП-ЦАП ZET-230 (с клеммной колодкой) 17 Усилитель высоковольтный 677В-Н-СЕ 18 Измеритель иммитанса E7-20 19 Лего-комплекты 20 Лего-комплекты 21 Лего-комплекты 22 Лего-комплекты 23 Лего-комплекты 24 Фоточувствительный измеритель "Вектор-175" 25 Генератор функциональный АНР - 1250 26 Измеритель температуры Center 303	
--	---	--

Помещения для самостоятельной работы:

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации,	1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт 2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2) Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь 3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-portr DGS-1016D 4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО 5. Видеокамера IP-FALCON EYE	Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009 Google Chrome - бесплатно Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. Lazarus 1.4.0 - бесплатно Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав IC000000027

практики, Компьютерный класс физико- технического факультета. Компьютерная лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО 6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3» 7. Комплект учебной мебели	от 16.09.2011 MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012 Microsoft Express Studio 4 - бесплатно MiKTeX 2.9 - бесплатно MPICH 64-bit – бесплатно MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017
--	--	--

Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины (модуля)	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания, утвердившего изменения
1	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
2	Раздел IV	Скорректированы задания для промежуточной аттестации в соответствии с обновленным «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
3	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
4	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
5	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ № 6 от 15.01.2019 г.
6	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.
7	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о рейтинговой системе	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.

		обучения в ТвГУ»	
8	Раздел IX	Актуализированы данные на основе Справки МТО ООП	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021
9	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021