

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 13.06.2023 09:47:51  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

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

Утверждаю:

Руководитель ООП

Б.Б.Педько



«28»

июня

2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Физика нано- и гетероструктур**

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

профиль

Физика и технология материалов и устройств радиоэлектроники

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н. Третьяков С.А.

Тверь, 2022

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

*Целью освоения дисциплины является:* усвоении современных представлений о физических процессах и технологиях, лежащих в основе создания субмикронных структур гетеро- и наноэлектроники, в том числе современных представлений о физических, химических и биологических свойствах различных наноматериалов, а также о возможности использования нанообъектов в перспективных областях промышленности.

*Задачами освоения дисциплины являются:* получение сведений о классификации наноструктур; ознакомление со способами получения наноструктур и гетероструктур; определение областей техники, в которых наноструктуры набирают популярность; умение ориентироваться в современной научно-технической литературе, связанной с физикой гетеро и нано структур.

### **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Физика нано- и гетероструктур» изучается в модуле «Физика и технология материалов радиоэлектроники» Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Для успешного освоения данной дисциплины необходимы знания и компетенции, полученные при предшествующем изучении дисциплин «Физическая кристаллография», «Экспериментальные и расчетные методы в физике конденсированного состояния». Изучение данной дисциплины необходимо для последующего освоения дисциплин «Физика и технологии функциональных материалов», «Материаловедение электронной техники». Профессиональные компетенции, сформированные при изучении данной дисциплины необходимы для прохождения преддипломной практики и выполнения выпускной квалификационной работы.

**3. Объем дисциплины:** 4 зачетные единицы, 144 академических часа, в том числе:

**контактная аудиторная работа:** лекции 28 часов, практические занятия 28 часов;

**контактная внеаудиторная работа:** 10 часов, в том числе курсовая работа 10 часов.

**самостоятельная работа:** 78 часов, 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
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.	УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие. УК-1.2. Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи. УК-1.3. Осуществляет поиск информации для решения поставленной задачи по различным типам запросов. УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.
ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы.	ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований. ПК-4.2. Применяет методы анализа научно-технической информации.

#### 5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения

Экзамен в 6 семестре.

**6. Язык преподавания:** русский.

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

#### 1. Для студентов очной формы обучения

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)			Самостоятельная
		Лекции	Практическ	Контроль	

		ие занятия		самостояте льной работы (в том числе курсовая работа)	работа, в том числе Контроль (час.)	
		всего	в т.ч. ПП			всего
<b>1 Классификация нанообъектов</b> Наноструктурированные материалы и наночастицы. Классификация В. Оствальда по агрегатному состоянию фаз. Классификация по размерам. Классификация по мерности. Классификация Г. Глейтера основных типов структур неполимерных наноматериалов по химическому составу, распределению фаз и форме. Нanomатериалы: функциональные, интеллектуальные, нанообъекты, содержащие специфические группы атомов, молекул нанометровых размеров (до 100 нм). Функциональные нанома-териалы: низкоразмерные объекты; тонкие слои, пленки; нанопроволоки, полимерные наноматериалы. Интеллек- туальные наноматериалы: объемные, полимерные и биоматериалы.	9	2		2		5
<b>2 Относительная роль физических и химических связей и взаимодействий применительно к нанообъектам</b> Относительная роль гравитационных, электростатических, электродинамических и магнитных взаимодействий на наноуровне. Природа сил притяжения и отталкивания. Когезионная энергия твердых тел. Природа межмо-	9	2		2		5

лекулярных взаимодействий Ориентационное, индукционное и дисперсионные взаимодействия. Природа водородной связи и ее особенности						
<b>3. Особые физические и химические свойства наночастиц и наноструктурированных материалов. Зависимость свойств от размера частиц</b> Особые свойства нанобъектов, обусловленные соизмеримостью их размеров и характерной длиной физических свойств. Особые свойства нанобъектов, обусловленные огромной поверхностной энергией: доля поверхности в наноматериалах, величина поверхностной энергии в наноматериалах. Поверхности и геометрические размеры кристаллов. Поверхность и геометрические размеры нанобъектов.	14	4		4		6
<b>4. Идеальная и реальная кристаллические структуры наноразмерных материалов</b> Структурные и электронные магические числа. Зависимость периода решетки от размеров наноматериала. Дефекты кристаллической решетки наноматериалов. Точечные дефекты в наночастицах. Линейные дефекты в наноматериалах. Микроискажения кристаллической решетки.	9	2		2		5
<b>5. Физико-химические основы формирования наноструктурированных материалов</b> Формирования наноструктур по механизму «снизу – вверх» Термодинамические аспекты гомогенного зародышеобразования. Расчет	17	4		4	4	5

критического размера и изменения свободной энергии зародышей разной формы. Термодинамические аспекты гетеро-генного зародышеобразования на поверхности кристалла. Кинетика гетерогенного зародышеобразования. Формирования наноструктур по механизму «сверху – вниз».							
<b>6. Физико-химические основы планарной технологии.</b> Основные операции планарной технологии. Технологические маршруты производства различных типов интегральных схем. «Критические» операции, определяющие минимальные размеры элементов. Переход с нанораз-мерным элементам.	13	4		4			5
<b>7. Авто-и гетероэпитаксия</b> Механизмы эпитаксиального роста тонких пленок. Автоэпитаксия кремния. Эпитаксия из газовой фазы. Молекулярнолучевая эпитаксия. Формирование наноразмерных структур. Гетероэпитаксия. Получения структур «кремний-на-диэлектрике».	17	4		4		4	5
<b>8. Процессы металлизации интегральных схем.</b> Процессы формирования межсоединений и их вклад в быстродействие интегральных схем. Требования к материалам для межсоединений. Физические и химические методы получения тонких пленок. Удельное сопротивление, контактное сопротивление различных материалов, применяемых в кремниевой технологии. Химическая и физическая адгезия. Эффект электромиграции. Стойкость к	9	2		2			5

электромиграции. Недостатки алюминиевой металлизации. Силициды тугоплавких металлов. Системы металлизации на основе меди. Многоуровневая металлизация							
<b>9. Сканирующая атомно-силовая микроскопия</b> Силовое взаимодействие между зондом и поверхностью. Датчик силового взаимодействия – кантеливер. Задача Герца. Силы Ван-Дер-Ваальса. Энергия ориентационного взаимодействия. Энергия индукционного взаимодействия. Энергия дисперсионного взаимодействия. Влияние консервативных сил на решение задачи Герца. Методы атомно-силовой микроскопии. Формирование изображения в атомно-силовой микроскопии.	11	2		2		2	5
<b>10. Сканирующая туннельная микроскопия</b> Туннельный эффект. Распределение электронов в приграничной области твердого тела. Потенциальный барьер. Плотность туннельного тока между зондом и образцом. Разрешающая способность туннельного микроскопа. Режимы работы сканирующего туннельного микроскопа	9	2		2			5
экзамен	27						27
<b>ИТОГО</b>	144	28		28		10	78

### III. Образовательные технологии

Учебная программа- наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
<b>1 Классификация нанообъектов</b> Наноструктурированные материалы и наночастицы. Классификация В. Оствальда по агрегатному состоянию	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Мозговой штурм</i>

<p>фаз. Классификация по размерам. Классификация по мерности. Классификация Г. Глейтера основных типов структур неполимерных наноматериалов по химическому составу, распределению фаз и форме. Наноматериалы: функциональные, интеллектуальные, нанообъекты, содержащие специфические группы атомов, молекул нанометровых размеров (до 100 нм). Функциональные наноматериалы: низкоразмерные объекты; тонкие слои, пленки; нанопроволоки, полимерные наноматериалы. Интеллектуальные наноматериалы: объемные, полимерные и биоматериалы.</p>		
<p><b>2 Относительная роль физических и химических связей и взаимодействий применительно к нанообъектам</b> Относительная роль гравитационных, электростатических, электродинамических и магнитных взаимодействий на наноуровне. Природа сил притяжения и отталкивания. Когезионная энергия твердых тел. Природа межмолекулярных взаимодействий Ориентационное, индукционное и дисперсионные взаимодействия. Природа водородной связи и ее особенности</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Мозговой штурм</i></p>
<p><b>3 Особые физические и химические свойства наночастиц и наноструктурированных материалов. Зависимость свойств от размера частиц</b> Особые свойства нанообъектов, обусловленные соизмеримостью их размеров и характерной длиной физических свойств Особые свойства нанообъектов, обусловленные огромной поверхностной энергией: доля поверхности в наноматериалах, величина поверхностной энергии в наноматериалах. Поверхности и геометрические размеры кристаллов. Поверхность и геометрические размеры нанообъектов.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Мозговой штурм</i></p>
<p><b>4. Идеальная и реальная кристаллические структуры наноразмерных материалов</b> Структурные и электронные магические числа. Зависимость периода решетки от</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Мозговой штурм</i></p>



<p>размеров наноматериала. Дефекты кристаллической решетки наноматериалов. Точечные дефекты в наночастицах. Линейные дефекты в наноматериалах. Микроискажения кристаллической решетки.</p>		
<p><b>5. Физико-химические основы формирования наноструктурированных материалов</b>  Формирования наноструктур по механизму «снизу – вверх»  Термодинамические аспекты гомогенного зародышеобразования. Расчет критического размера и изменения свободной энергии зародышей разной формы. Термодинамические аспекты гетеро-генного зародышеобразования на поверхности кристалла. Кинетика гетерогенного зародышеобразования  Формирования наноструктур по механизму «сверху – вниз».</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание.  Групповое решение задач.  Дискуссия  Мозговой штурм</i></p>
<p><b>6. Физико-химические основы планарной технологии.</b>  Основные операции планарной технологии. Технологические маршруты производства различных типов интегральных схем. «Критические» операции, определяющие минимальные размеры элементов. Переход с наноразмерным элементом.</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание.  Групповое решение задач.  Дискуссия  Мозговой штурм</i></p>
<p><b>7. Авто-и гетероэпитаксия</b>  Механизмы эпитаксиального роста тонких пленок. Автоэпитаксия кремния. Эпитаксия из газовой фазы. Молекулярнолучевая эпитаксия. Формирование наноразмерных структур. Гетероэпитаксия. Получения структур «кремний-на-диэлектрике».</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание.  Групповое решение задач.  Дискуссия  Мозговой штурм</i></p>
<p><b>8. Процессы металлизации интегральных схем.</b>  Процессы формирования межсоединений и их вклад в быстродействие интегральных схем. Требования к материалам для межсоединений. Физические и химические методы получения тонких пленок. Удельное сопротивление, контактное сопротивление различных материалов, применяемых в кремниевой технологии. Химическая и физическая адгезия. Эффект электромиграции. Стойкость к электромиграции. Недостатки</p>	<p><i>Лекции, практические занятия</i></p>	<p><i>Активное слушание.  Групповое решение задач.  Дискуссия  Мозговой штурм</i></p>

алюминиевой металлизации. Силициды тугоплавких металлов. Системы металлизации на основе меди. Многоуровневая металлизация		
<b>9. Сканирующая атомно-силовая микроскопия</b> Силовое взаимодействие между зондом и поверхностью. Датчик силового взаимодействия – кантеливер. Задача Герца. Силы Ван-Дер-Ваальса. Энергия ориентационного взаимодействия. Энергия индукционного взаимодействия. Энергия дисперсионного взаимодействия. Влияние консервативных сил на решение задачи Герца. Методы атомно-силовой микроскопии. Формирование изображения в атомно-силовой микроскопии.	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Мозговой штурм</i>
<b>10. Сканирующая туннельная микроскопия</b> Туннельный эффект. Распределение электронов в приграничной области твердого тела. Потенциальный барьер. Плотность туннельного тока между зондом и образцом. Разрешающая способность туннельного микроскопа. Режимы работы сканирующего туннельного микроскопа	<i>Лекции, практические занятия</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия Мозговой штурм</i>

#### **IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации**

**Форма проведения экзамена:** студенты, освоившие программу курса, могут получить оценку 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 экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

**Для проведения текущей и промежуточной аттестации:**

**УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач:**

УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие.

УК-1.2. Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи.

УК-1.3. Осуществляет поиск информации для решения поставленной задачи по различным типам запросов.

УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.

**Задание:**

1. Сделать доклад на тему "Особые свойства нанобъектов".
2. Сделать доклад на тему "Физические и химические методы получения тонких пленок".

**Способ аттестации:** устный

**Критерии оценки:**

- Тема актуальна и сформулирована грамотно – 1 балл;
- тема полностью раскрыта в докладе; корректно использован понятийный аппарат; логичность и ясность изложения – 2 балла;
- использованы публикации последних лет – 1 балл;
- определена позиция автора; предложен и аргументирован собственный взгляд на проблему – 1 балл;

**ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы:**

ПК-4.1. Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований.

ПК-4.2. Применяет методы анализа научно-технической информации.

**Задание:**

Выполнить тест:

1. Почему зародыш, отвечающий максимуму работы нуклеации  $W$  называют критическим?

- Потому что он отвечает критической температуре
- Потому что только при размере зародыша больше критического возможен его самопроизвольный рост
- Термин «критический зародыш» в теории фазовых переходов не используется
- Потому что при превышении критического размера зародыш исчезает
- Потому что только критический зародыш является стабильным

2. Выберите правильное утверждение

- Температура плавления наночастиц возрастает с уменьшением их размера
- Температура плавления наночастиц не зависит от их размера
- Температура плавления наночастиц уменьшается с уменьшением их размера
- Понятие температуры плавления к наночастицам неприменимо
- Температура плавления изменяется по гармоническому закону

**Способ аттестации:** письменный

**Критерии оценки:**

Правильно выбран вариант ответа – 1 балл

**V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

1) Рекомендуемая литература

а) основная литература:

1. Троян П.Е. Нанoeлектроника [Электронный ресурс]: учебное пособие / П.Е. Троян, Ю.В. Сахаров. — Электрон. текстовые данные. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010. — 88 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13949.html>
2. Орлова М.Н. Нанoeлектроника [Электронный ресурс]: курс лекций / М.Н. Орлова, И.В. Борзых. — Электрон. текстовые данные. — М. : Издательский

Дом МИСиС, 2013. — 50 с. — 978-5-87623-725-5. — Режим доступа:  
<http://www.iprbookshop.ru/56246.html>

б) дополнительная литература

1. Драгунов В.П. Микро- и наноэлектроника [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.П. Драгунов, Д.И. Остертак. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 38 с. — 978-5-7782-2095-9. — Режим доступа:  
<http://www.iprbookshop.ru/45107.html>

2) Программное обеспечение

а) Лицензионное программное обеспечение

б) Свободно распространяемое программное обеспечение

3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1.ЭБС«ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com);

2.ЭБС «Университетская библиотека онлайн»<https://biblioclub.ru/>;

3.ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com>

4) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

## **VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

### ***Методические рекомендации***

Предметом оценки является подготовка студентов к занятиям, работа студентов на практических занятиях.

Оценки успеваемости студентов проходит в модульную неделю в соответствии с графиков учебного процесса.

Практические задания по демонстрации компетенций заключаются в устных или письменных ответах на поставленные преподавателем или составленным самими студентами вопросы (традиционные или в форме тестов). При этом оценивается обоснованность ответа, ясность и последовательность

изложения мысли. Такая демонстрация компетенций проверяет уровень владения теоретическим и практическим материалом.

### ***Требования к рейтинг-контролю***

Оценка знаний студентов осуществляется по результатам успеваемости и оценивается по 100 – бальной системе. Семестр делится на два модуля.

Согласно нормативно – методическим материалам рейтинговой системы оценки качества учебной работы студентов ТвГУ, студент по предмету для сдачи экзамена должен набрать за семестр не менее 40 баллов.

1 контрольная точка. По текущей работе студента – 21 балл. Итоговый контроль за модуль – 9 баллов. Всего 30 баллов.

2 контрольная точка. По текущей работе студента – 11 баллов. Итоговый контроль за модуль – 9 баллов. Выступление с докладом – 10 баллов. Всего 60 баллов.

Баллы по текущей работе студента начисляются за следующие виды работ:

- выступление с докладом – 10 баллов;
- модульная контрольная работа – максимум 9 баллов.

***Итоговый контроль*** проводится в форме экзамена, который включает устные ответы на теоретические вопросы.

### ***Вопросы к экзамену***

Основные тенденции развития микро-и нанотехнологий создания устройств электронной техники.

- Закон Мура. Основные причины замедления темпов роста степени интеграции.

- Квантовые ограничения для приборов классической электроники.

- Физические ограничения минимальных размеров ИС.

- Схемотехнические и технологические ограничения минимальных размеров ИС.

-Базовые операции и основные принципы планарной технологии.

Изменения набора базовых операций при переходе к наноразмерным приборам.

- Бездислокационный кремний. Геттерирование примесей. Внутреннее и внешнее геттерирование.
- Термическое окисление. Основные методы. Получение сверхтонких слоев.
- Анизотропия ионного легирования. Температурные режимы. Применения ионного легирования в технологии субмикронных СБИС.
- Автоэпитаксия кремния. Методы автоэпитаксии.
- Молекулярно-лучевая эпитаксия в технологии наноразмерных структур электроники.
- Основные требования к подложкам в процессах гетероэпитаксии.
- Эпитаксия соединений АЗБ5. Мос-гидридная эпитаксия.
- Предельная разрешающая способность различных методов литографии.
- Оптическая литография в дальнем УФ-диапазоне.
- Рентгенолитография.
- Электронно-лучевая литография. Эффект близости.
- Электронно-проекторная литография.
- Ионная литография.
- Основные требования к материалам для межсоединений. Многоуровневые системы металлизации.
- Сравнительная характеристика алюминиевой и медной систем металлизации.
- Виды классификации нанообъектов. Определение дисперсности. Характеристики дисперсности наноматериалов. Классификация по мерности.
- Наноструктурные материалы. Функциональные и интеллектуальные наноматериалы. Приведите примеры их использования.
- Особые физические, химические и биологические свойства нанообъектов и наноструктурированных систем. Размерные эффекты.
- Относительная роль гравитационных, электростатических, электродинамических и магнитных взаимодействий на наноуровне. Природа сил притяжения и отталкивания.

- Поверхности и геометрические размеры кристаллов и других нанообъектов

- Идеальные кристаллические структуры наноразмерных материалов. Структурные и электронные магические числа. Зависимость периода решетки от размеров наноматериала.

- Реальная кристаллическая структура наноструктурированных материалов. Дефекты кристаллической решетки, характерные для наноматериалов. Возможность существования вакансий и дислокаций в наноматериалах.

- Микроискажения кристаллической решетки в наноматериалах.

- Поверхность, границы, морфология наноматериалов. Доля поверхности в наноматериалах.

- Величина поверхностной энергии. Поверхностный потенциал Гиббса.

- Границы зерен в наноструктурных материалах. Морфология наночастиц.

- Механизмы формирования наноструктур, их принципиальное различие. Гомогенное зародышеобразование наночастиц. Энергия Гиббса конкретных процессов получения наноматериалов и для зародышей разной формы.

- Гетерогенное зародышеобразование наночастиц на поверхности кристалла и в реакциях восстановления.

- Особенности формирования наноструктуры по механизму «сверху-вниз»

- Квазиравновесие в наносистемах; устойчивость нанообъектов. Изменение фазовых равновесий в наноразмерных системах. Уравнение Лапласа.

- Фазовое равновесие в наносистемах. Изменение температуры плавления в наноматериалах. Уравнение Томсона. Модели, описывающие понижение температуры плавления наносистем.

- Особенности полиморфных превращений в наносистемах. Устойчивость нанообъектов. Образование твердых растворов.

- Квантоворазмерные эффекты в металлах, полупроводниках и молекулярных кристаллах.

- Особенности зонной структуры металлов, полупроводников в нанокристаллическом состоянии.



- Эффекты, обусловленные размерами и размерностью нанообъектов: размерные эффекты. Задача о частице в потенциальном ящике. Частичная локализация. Поведение электронов в тонкой пленке.

- Квантовое ограничение. Квантовая яма. Квантовая проволока. Квантовая точка.

- Размерность объекта и электроны проводимости. Ферми-газ и плотность состояний. Свойства, зависящие от плотности состояний. Условия, при которых наблюдаются квантовые эффекты.

- Оптические свойства полупроводников. Спектры поглощения и люминесценции, их связь с зонной структурой полупроводников. Оценка размеров наночастиц по спектральным данным.

- Методы синтеза разупорядоченных твердотельных структур. Влияния наномасштабности зерен на объемную структуру и свойства разупорядоченных твердотельных материалов

- Линейные дефекты: трещины и дислокации в разупорядоченных композиционных материалах. Определение дислокации и вектора Бюргерса. - Особенности и свойства дислокации. Различие величин модулей упругости и пределов прочности: наноструктурированного материала и объемного материала с микронным размером зерна.

## **VII. Материально-техническое обеспечение**

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, Учебная аудитория № 28 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1 Экран настенный Screen Media 153x203 2. Комплект учебной мебели на 24 посадочных места 3. Меловая доска 4. Переносной ноутбук 5. проектор EPSON EB-X05 с потолочным креплением	Microsoft Windows 10 Enterprise MS Office 365 pro plus Acrobat Reader DC - бесплатно Google Chrome – бесплатно
---	--	---

## **VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины**

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Реквизиты документа, утвердившего изменения
1.			
2.			