

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/04-577

от 27.04.2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
5	2-3	72- 108	18	18	0	36-72	0	3
Итого	2-3	72- 108	18	18	0	0	36-72	0

АННОТАЦИЯ

В курсе изучаются основы современных физических технологий, направленных на создание и обработку твердых материалов с использованием электронных, ионных, нейтронных пучков и лазерного излучения. Рассматриваются вопросы взаимодействия перечисленных энергетических потоков с твердым телом, основные элементы устройств для реализации рассматриваемых технологий, а также их конструктивные особенности. С физической точки зрения определяются сравнительные возможности этих технологий и их перспективы.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

В курсе изучаются основы современных физических технологий, направленных на создание и обработку твердых материалов с использованием электронных, ионных, нейтронных пучков и лазерного излучения. Рассматриваются вопросы взаимодействия перечисленных энергетических потоков с твердым телом, основные элементы устройств для реализации рассматриваемых технологий, а также их конструктивные особенности. С физической точки зрения определяются сравнительные возможности этих технологий и их перспективы.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

При освоении дисциплины предполагается, что студенты знакомы с содержанием курсов высшей математики и общей физики в объеме первых четырех семестров.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-1 [1] – Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	З-ОПК-1 [1] – Знать базовые законы естественнонаучных дисциплин; основные математические законы; основные физические явления, процессы, законы и границы их применимости; сущность основных химических законов и явлений; методы математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования У-ОПК-1 [1] – Уметь выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат В-ОПК-1 [1] – Владеть математическим аппаратом для разработки моделей процессов и явлений, решения практических задач профессиональной деятельности; навыками использования основных общепрофессиональных

	законов и принципов
ОПК-2 [1] – Способен понимать принципы работы информационных технологий; осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий	З-ОПК-2 [1] – Знать средства и методы поиска, анализа, обработки и хранения информации, в том числе виды источников информации, поисковые системы и системы хранения информации У-ОПК-2 [1] – Уметь осуществлять поиск, хранение, анализ и обработку информации, представлять ее в требуемом формате; применять компьютерные и сетевые технологии В-ОПК-2 [1] – Владеть навыком поиска, хранения, обработки и анализа информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований; проведение фундаментальных и прикладных математических и физических исследований, направленных на решение инженерных, технических и информационных задач; участие в проведении	математические модели, методы исследования и разработок, компьютерные программы, результаты исследования	ПК-1 [1] - Способен использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-1[1] - знать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области, ; У-ПК-1[1] - уметь использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области;

<p>наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий; сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации; участие в обобщении полученных данных, формировании выводов, в подготовке научных и аналитических отчетов, публикаций и презентаций результатов научных и аналитических исследований; участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок; создание</p>			<p>В-ПК-1[1] - владеть современными компьютерными технологиями и методами использования информационных ресурсов в своей предметной области</p>
--	--	--	--

<p>программ и комплексов программ на базе стандартных пакетов для выполнения расчетов в рамках математических моделей, участие в разработке новых алгоритмов и компьютерных программ для научно-исследовательских и прикладных целей; подготовка данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций, участие во внедрении результатов исследований и разработок.</p>			
--	--	--	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
-----------------------------	-------------------------	------------------------------------

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>5 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	9/9/0		25	КИ-8	З-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-

							1, 3- ОПК- 2, У- ОПК- 2, В- ОПК- 2, 3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1
2	Раздел 2	9-16	9/9/0		25	КИ-16	3- ОПК- 1, У- ОПК- 1, В- ОПК- 1, 3- ОПК- 2, У- ОПК- 2, В- ОПК- 2, 3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1
	<i>Итого за 5 Семестр</i>		18/18/0		50		
	Контрольные мероприятия за 5 Семестр				50	3	3- ОПК- 1, У- ОПК- 1, В- ОПК- 1, 3- ОПК-

							2, У- ОПК- 2, В- ОПК- 2, 3-ПК- 1, У- ПК-1, В- ПК-1
--	--	--	--	--	--	--	--

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>5 Семестр</i>	18	18	0
1-8	Раздел 1	9	9	0
1 - 2	Тема 1. Предмет курса. Структура твердого тела. Решетки Бравэ. Кристаллографические символы. Связи между атомами в твердом теле. Материаловедение и приоритетные (критические) физические технологии. Место пучковых, плазменных и лазерных (корпускулярно-фотонных) технологий и их основные области применения. Классификация корпускулярно-фотонных технологий. Основные понятия и терминология. Обзор основных процессов, происходящих при взаимодействии частиц и электромагнитного излучения с твердым телом.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	Тема 2. Взаимодействие пучка электронов с веществом Многokратное рассеяние электронов в твердом теле. Глубина проникновения электронов в веществе. Формула Бете-Блоха. Энергетические потери электрона. Формула Виддингтона-Томсона. Эффективные и удельные энергетические потери пучка электронов.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Процессы нагрева, плавления и испарения вещества под действие электронного пучка. Формулировка задач теплопроводности. Нетермическое воздействие пучка электронов на вещество.			
5	Тема 3. Элементы электронно-лучевой технологии. Источники электронов и формирование электронных пучков. Термические методы обработки материалов электронными пучками: нагрев несфокусированным пучком электронов, переплавка металлов и сплавов, выращивание монокристаллов, сварка, наплавление порошковых материалов, получение тонких пленок. Нетермические методы обработки материалов. Электронная литография.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
6 - 7	Тема 4. Взаимодействие ионного пучка с веществом. Потери энергии ионами в твердом теле. Ядерное и электронное торможение. Теория Линхарда, Шарфа и Шиотта (ЛШШ). Пробеги ионов в аморфных и кристаллических веществах. Профиль распределения внедренных ионов. Каналирование ионов. Структурные изменения, вызываемые ионной бомбардировкой. Виды дефектов. Профили распределения дефектов по глубине. Диффузия дефектов. Радиационно-стимулированная диффузия. Эмиссия частиц с поверхности при ионной бомбардировке. Процесс ионного распыления. Зависимость характеристик распыления от параметров взаимодействия пучка с веществом.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	Тема 5. Элементы ионно-пучковой технологии. Схема технологической установки. Источники ионов и формирование ионных пучков. Ионная имплантация и устройство ионного имплантора. Ионное травление. Нанесение тонких пленок. Получение ядерных мембран	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Раздел 2	9	9	0
9	Тема 6. Взаимодействие нейтронов с веществом и методы модификации материалов потоком нейтронов. Краткая характеристика процесса взаимодействия нейтронов с твердым телом. Ядерные реакции под действием нейтронов. Нейтронное легирование полупроводниковых материалов.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	Тема 7. Воздействие потоков плазмы на вещество. Плазма: основные понятия и характеристики. Получение плазменных потоков (механизмы ускорения). Термическое воздействие плазмы. Удаление вещества с поверхности воздействием плазмы или плазменного потока. Плазменное распыление и плазмохимическое удаление. Плазменное нанесение материала: нанесение веществом из плазменного потока и нанесение посредством плазменного распыления.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

11	Тема 8. Элементы плазменной и ионно-плазменной технологий. Источники плазмы и плазменных потоков: плазмотроны и плазменные ускорители. Технологический процесс плазменного нанесения покрытий и тонких пленок. Плазмохимическое и ионно-химическое травление материалов.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
12 - 13	Тема 9. Взаимодействие лазерного излучения технологической интенсивности с веществом. Полуклассическое описание процесса взаимодействия лазерного излучения с конденсированным веществом. Механизмы поглощения лазерного излучения умеренной интенсивности (менее 10^{10} Вт/см ²) в веществе: поглощение свободными носителями заряда, фундаментальное поглощение, примесное поглощение, решеточное поглощение. Нагрев вещества лазерным излучением. Плавление материалов. Лазерное испарение материалов. Образование лазерной плазмы.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
14 - 15	Тема 10. Элементы лазерных технологий. Технологические лазерные установки. Лазерная сварка. Лазерное легирование материалов. Лазерная резка и сверление материалов. Напыление тонких пленок. Лазерно-плазменные источники ионов	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Активная форма проведения лекционных занятий предполагает, в частности, что студенты часть материала прорабатывают самостоятельно. Можно рекомендовать для самостоятельного изучения такие темы, как каналирование ионов, технологические источники плазменных потоков (плазмотроны, плазменные ускорители) и некоторые другие.

В процессе решения задач обсуждаются все необходимые экспериментальные факторы, приводятся схемы установок, даются типичные параметры физических величин, чтобы студенты ещё до проведения расчёта заранее понимали порядок величины полученного ответа.

Интерактивная форма занятий может включать кратковременный внутрисеместровый контроль усвоения знаний по читаемому курсу в форме решения достаточно простых задач (условия формулируются в конце лекции, обсуждение предлагаемого решения в начале следующей) или ответов на в значительной степени качественные вопросы.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ОПК-1	З-ОПК-1	З, КИ-8, КИ-16
	У-ОПК-1	З, КИ-8, КИ-16
	В-ОПК-1	З, КИ-8, КИ-16
ОПК-2	З-ОПК-2	З, КИ-8, КИ-16
	У-ОПК-2	З, КИ-8, КИ-16
	В-ОПК-2	З, КИ-8, КИ-16
ПК-1	З-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	

65-69			Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64	3 – «удовлетворительно»	E	
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ E91 Laser Processing of Engineering Materials: Principles, Procedure and Industrial Application : , : Elsevier, 2005
2. ЭИ H99 Solid-State Physics : An Introduction to Principles of Materials Science, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009
3. ЭИ И32 Избранные вопросы физики плазмы и её применения Вып.1 , Москва: НИЯУ МИФИ, 2017
4. ЭИ К 73 Лекции по физике плазмы. Том 1. Основы физики плазмы Лекции по физике плазмы. Том 1. Основы физики плазмы, : , 2022
5. ЭИ X17 Материаловедение : , Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
6. 620 X17 Материаловедение : , Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
7. 620 P19 Неорганические наноматериалы : учебное пособие для вузов, Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2013
8. 621.3 Г16 Процессы плазменного травления в микро- и нанотехнологиях : учебное пособие для вузов, Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2018
9. ЭИ M50 Лазерная технология : , А. П. Менушенков, Москва: МИФИ, 2008
10. 621.37 M50 Физические основы лазерной технологии : учебное пособие, А. П. Менушенков, В. Н. Неволин, В. Н. Петровский, Москва: НИЯУ МИФИ, 2010

11. ЭИ М50 Физические основы лазерной технологии : учебное пособие для вузов, А. П. Менушенков, В. Н. Неволин, В. Н. Петровский, Москва: НИЯУ МИФИ, 2010

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.7 Г83 Лазерная прецизионная микрообработка материалов : , Москва: Физматлит, 2017
2. ЭИ А47 Нейтронные методы в физике конденсированного состояния : учебное пособие для вузов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
3. ЭИ Щ 61 Технология обработки материалов. Оборудование электронно-лучевых комплексов : учебное пособие для академического бакалавриата, Москва: Юрайт, 2018
4. 533 Ц93 Физические основы плазменной и лазерной технологий : Учеб. пособие, А. С. Цыбин, Москва: МИФИ, 2002
5. 621.9 П27 Перспективные радиационно-пучковые технологии обработки материалов : Учебник для вузов, В. А. Грибков [et al.], М.: Круглый год, 2001

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Программой курса предусматривается освоение студентом основных понятий и закономерностей, относящихся к структуре, фазовым состояниям, связям и дефектам в твердом теле, а также к физическим явлениям, лежащим в основе современных и перспективных технологических процессов, использующих для воздействия на поверхность материала пучки заряженных частиц (ионы, электроны), потоки плазмы, лазерное излучение (корпускулярно-фотонные технологии). Курс должен помочь студенту освоить основы физического материаловедения, в основном с позиций технологического воздействия на материалы, научиться использовать полученные теоретические знания для описания и оценочных расчетов реальных технологических производственных процессов.

Студент должен четко представлять общие явления, происходящие при воздействии на поверхность вышеназванных потоков, а также разнообразие физических процессов при

воздействие каждого из рассматриваемых энергетических потоков в диапазоне плотности мощности на поверхности вплоть до 10^{10} Вт/см².

Программой лекционного курса предусматривается, что студент должен освоить закономерности потерь энергии потоком, изменений его геометрических параметров при прохождении в веществе, а также изменения в результате воздействия параметров самого вещества, таких как температура, структура, фазовое состояние, эмиссия частиц с поверхности и др. Студент должен иметь представление об основных уравнениях, моделях и расчетных соотношениях, описывающих и характеризующих процесс воздействия потоков электронов, ионов, плазмы и лазерного излучения на вещество.

По каждому из таких потоков надо иметь представление о конкретных современных технологиях, их отдельных технических реализациях и основных технологических параметрах устройств, их плюсов и минусов. Желательно уметь сравнить возможности технологического использования разных энергетических потоков на примере конкретных технологий (литография, электроннолучевая и лазерная сварка и др.).

Интерактивная форма занятий может включать кратковременный внутрисеместровый контроль усвоения знаний по читаемому курсу в форме решения достаточно простых задач (условия формулируются в конце лекции, обсуждение предлагаемого решения в начале следующей) или ответов на в основном качественные вопросы.

Активная форма освоения дисциплины предполагает, в частности, что студенты часть материала прорабатывают самостоятельно.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Лекционный курс предназначен для освоения знаний, относящихся к структуре и фазовым состояниям вещества, связям в твердом теле, а также физическим явлениям, лежащим в основе современных и перспективных технологических процессов, использующих для воздействия на поверхность материала (твердого тела) пучки заряженных частиц (ионы, электроны), потоки плазмы, лазерное излучение (корпускулярно-фотонные технологии). Курс должен помочь студенту освоить основы физического материаловедения, в основном с позиций технологического воздействия на материалы, научиться использовать полученные теоретические знания для описания и оценочных расчетов реальных технологических производственных процессов.

Занятия строятся по следующему плану: сначала приводятся и обсуждаются основные понятия, относящиеся к структуре, фазовым состояниям, связям и дефектам в веществе, а также общие явления, происходящие при воздействии на поверхность вышеназванных потоков. Отмечается разнообразие физических процессов при таком. Далее воздействие каждого из рассматриваемых энергетических потоков рассматривается более подробно. При этом начинать целесообразно с воздействия на вещество потоками заряженных частиц - электронами, ионами (технологии с их использованием наиболее сложившиеся). Основной упор делается на закономерностях потерь энергии потоком, его рассеянии, изменении в результате воздействия параметров самого вещества, таких как температура, структура, фазовое состояние, эмиссия частиц с поверхности и др. Рассматриваются основные уравнения, модели и расчетные соотношения, описывающие и характеризующие процесс воздействия потока на вещество. Важно каждый из таких разделов, относящийся к одному из потоков, завершать рассмотрением примеров конкретных реализаций современных технологий с представлением основных параметров технологических устройств, обсуждением плюсов и минусов процесса. Желательно

также кратко сравнить возможности использования разных энергетических потоков на примере конкретных технологий (литография, электроннолучевая и лазерная сварка и др.)

Автор(ы):

Литвинов Артур Васильевич, к.ф.-м.н.