

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Оценочные материалы по дисциплине

Физика лучевого воздействия

по направлению подготовки

03.04.02 Физика

Форма обучения

Очная

Квалификация

Магистр

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
О.Н. Чайковская

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ПК-1 – Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1. Знает основные стратегии исследований в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости;

ИПК-1.2. Умеет выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики, извлекать информацию из различных источников, включая периодическую печать и электронные коммуникации, представлять её в понятном виде и эффективно использовать;

2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля.

I. По дисциплине «Физика лучевого воздействия» вводится бально-рейтинговая система оценки знаний. Текущая успеваемость включает оценку активности студента на лекционных и практических занятиях: в течение семестра проводится 32 лекционных занятия, на которых каждый студент оценивается от 0 до 5 баллов. Вопросы для повторения материалов каждой лекции размещены в системе LMS Moodle ТГУ (Learning Management System Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) по ссылке: <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=24595>

Пример тестовых вопросов к вводному разделу курса:

1) Назначение электронно-пучковых технологий для модификации металлических материалов.

2) Перечислите виды взаимодействия электронов и ионов с металлической мишенью

3) Какие из видов ионных пучков относятся к низкоэнергетическим?

Критерии оценивания: Промежуточная аттестация проводится в форме устного опроса, после которого студент может получить до 10 баллов. Набранные баллы вычисляются системой.

II. По всем трем разделам дисциплины «Физические процессы взаимодействия электронов с твердым телом», «Физические процессы взаимодействия ионов с твердым телом», «Методы ионно-плазменного легирования, нанесения тонких пленок и покрытий» в курсе предусмотрены практические задания (ИПК 1.1, ИОПК 2.1).

Пример Задания по разделу 1.

Пример заданий по теме «Функция потерь энергии электронов по глубине. Длина пробега»

1) Даны физические характеристики электронного пучка (энергия, длительность импульса, количество импульсов) и мишени (плотность, температура плавления, теплоёмкость, температуропроводность). Необходимо оценить глубину траекторного пробега электронов и толщину расплава по формуле:

$$R = \int_{E_0}^0 \frac{1}{dE/dx} dE = \frac{E_0^{5/3}}{\lambda_s \cdot 5 \cdot 2^{5/3} \pi a^{1/3} e^{10/3} N Z}$$

Критерии оценивания: Дается полный и развернутый ответ в письменной форме. Ответ студента оценивается по шкале от 1 до 5 баллов.

2) Задача: необходимо определить толщину слоя Кнудсена, соответствующего насыщенному пару вблизи расплавленной поверхности, если известна температура расплава, диаметр атомов/молекул и давление насыщенного пара.

Критерии оценивания: результаты решенной задачи определяются оценками «зачтено» и «не зачтено». Оценка «зачтено» выставляется, если студент предъявляет правильное письменное решение задачи и способен обосновать метод решения, понимает используемые формулы. При невыполнении указанных критериев оценки «зачтено» выставляется оценка «не зачтено».

III. Для углубленного изучения курса по основным разделам курса студентам предлагаются темы для рефератов по методам обработки конструкционных и функциональных материалов концентрированными потоками энергии (ОПК-2, ПК-1).

Темы для рефератов и учебно-методическая литература для самостоятельной работы по разделам дисциплины «Физика лучевого воздействия»:

Тема 1. Описание возможностей получения нанокристаллических твердых покрытий методами вакуумного дугового осаждения на поверхности конструкционных материалов.

Задача реферата – сформировать базовые представления о вакуумных методах нанесения покрытий, взаимосвязи режимов осаждения и структуры покрытий, а также способах оценки адгезионной прочности сцепления покрытия с подложкой.

Предлагаемая литература:

1. Перспективные радиационно-пучковые технологии обработки материалов / В. А. Грибков [и др.]. – М.: «Круглый год». – 2001. – 528 с.
2. Тонкие пленки. Взаимная диффузия и реакции / под ред. Дж. Поута. – М.: «Мир». – 1982. – 576 с.
3. Валяев А. Н., Погребняк А. Д., Кишимото Н, Ладысев В. С. Модификация свойств материалов и синтез тонких пленок при облучении интенсивными электронными и ионными пучками. Казахстан, Усть-Каменогорск, 2000.
4. Наноинженерия поверхности. Формирование неравновесных состояний в поверхностных слоях материалов методами электронно-ионно-плазменных технологий. Гл. 2, 4, 5. Новосибирск, Изд. Сибирского отделения РАН, 2008 г.
5. Коротаев А.Д., Овчинников С. В., Тюменцев А. Н., Пинжин Ю. П. Наноструктурные и нанокompозитные покрытия. Методы синтеза, особенности структуры и свойства. Учебное пособие, Томск 2007. – с.95.

Тема 2. Формирование аморфных структурных состояний в титановых сплавах при облучении ионными пучками.

Задача реферата – сформировать компетенции и базовые знания об особенностях определения стеклообразующей способности двойных и тройных сплавов на основе титана, а также механизмах аморфизации под облучением.

Предлагаемая литература:

1. Коротаев А. Д., Тюменцев А. Н. Аморфизация металлов методами ионной имплантации и ионного перемешивания. Изв. Вузов Физика №8. – с. 3-30. 1994.
2. Нолфи Ф.В. Фазовые превращения при облучении ; под ред. Ф.В. Нолфи : пер. с англ. – Челябинск: Металлургия, Челябинское отд. – 1989. – 312 с.

3. Глезер А. М. Аморфно-нанокристаллические сплавы / А. М. Глезер, Н. А. Шурыгина. – М. : Физматлит, 2014. – 450 с.
4. Абросимова Г. Е. Эволюция структуры аморфных сплавов // Успехи физ. наук. – 2011. – Т. 181. – № 12. – С. 1265–1281.
5. Inoue A. Stabilization of metallic supercooled liquid and bulk amorphous alloys // Acta Mater. – 2000. – Vol. – 48. – P. 279–306.
6. Wang W. H. Bulk metallic glasses / W. H. Wang, C. Dong, C. H. Shek // Mat. Sci. Eng. R: Reports. – 2004. – Vol. 44. – P. 45–89.

3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания

Экзамен в 2 семестре проводится в устной и письменной форме по экзаменационным билетам и предусматривает оценивание ответов (0-60 баллов). Каждый экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов, проверяющих компетенции ИПК 1.1, ИОПК 2.2. К экзамену допускаются только студенты, успешно прошедшие текущую аттестацию. Примерный перечень теоретических вопросов:

Вопрос 1. При каких энергиях электронов может наблюдаться явление кратерообразования на поверхности металлической мишени?

Вопрос 2. Выведите формулу для потерь энергии ионов по глубине мишени.

В курсе «Физика лучевого воздействия» максимальная сумма баллов по дисциплине составляет 100 баллов и формируется следующим образом: 40 баллов по результатам текущей аттестации и 60 баллов по результатам промежуточной аттестации (экзамен). Итоговая оценка по дисциплине складывается из суммы баллов, полученной по итогам текущего контроля и промежуточной аттестации (устного экзамена). Итоговая оценка за экзамен ставится в соответствии с рейтинговой шкалой:

- 0-50 балла – «неудовлетворительно»;
- 51-70 баллов – «удовлетворительно»;
- 71-80 баллов – «хорошо»;
- 81-100 баллов – «отлично».

Перечень вопросов, выносимых на экзамен:

1. Торможение и рассеяние электронов в твердых телах. Упругое и неупругое взаимодействие электронов с мишенью.
2. Торможение и рассеяние ионов в твердых телах. Упругое взаимодействие ионов с частицами кристаллической решетки в металлических материалах. Проективный пробег ионов.
3. Функция потерь энергии электронов по глубине решетки. Оценка пробега электронов. Низкоэнергетические сильноточные электронные пучки.
4. Каскады столкновений. Линейные и нелинейные каскады. Стадии развития каскадов. Оценка температуры каскадной области. Закалка каскадов.
5. Типы радиационных дефектов при взаимодействии ионного пучка с твердым телом. Возврат радиационных дефектов. Радиационно-ускоренная диффузия.
6. Ионная имплантация. Профили распределения имплантированных ионов. Зависимость профилей от дозы имплантированных ионов.
7. Особенность фазово-структурных состояний в твердых телах при ионной имплантации. Условия формирования аномально-пересыщенных твердых растворов при ионной имплантации.

8. Формирование вторичных фаз при ионной имплантации. Дисперсность и объемная доля частиц вторичных фаз.
9. Твердофазная аморфизация ионно-легированного слоя. Твердофазная аморфизация интерметаллидов при ИИ.
10. Ионное перемешивание. Баллистическое и тепловое перемешивание в каскадах. Эффекты «диффузионного» ионного перемешивания.
11. Мощные ионные пучки (МИП). Анализ динамики температурного поля при воздействии МИП.
12. Особенности фазово-структурных состояний при воздействии ионного пучка. Кратерообразование. Эффекты дальнего действия.
13. Достоинство и недостатки модификации поверхности твердого тела при ионной имплантации и ионном перемешивании.
14. Ионно-плазменные методы нанесения тонких пленок и покрытий. Механизмы зарождения покрытий.
15. Адгезия покрытий. Основные структурные и технологические факторы, определяющие адгезию.
16. Схема Торнтона - зависимость микроструктуры покрытий от температуры их получения.
17. Совмещение ионно-плазменного синтеза покрытий с ионным облучением. Внутренние напряжения в покрытиях. Адгезия и текстура покрытий.
18. Влияние легирования на структуру покрытий. Синтез покрытий в условиях их расслоения по составу.
19. Нанокompозитные покрытия. Внутренние напряжения в нанокompозитных покрытиях и их термическая стабильность.

Критерии оценивания.

В курсе «Физика лучевого воздействия» используется бально-рейтинговая система оценки знаний. Максимальная сумма баллов по дисциплине составляет 100 баллов, из которых 40 баллов – результаты текущей аттестации, а 60 баллов – результаты промежуточной аттестации (экзамен). Итоговая оценка по дисциплине складывается из суммы баллов, полученной по итогам текущего контроля и промежуточной аттестации (устного экзамена).

Критерии формирования оценки при промежуточной аттестации (экзамен)

Количество баллов	Результат, продемонстрированный студентом на экзамене
50-60	Выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и по существу излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, способному самостоятельно принимать и обосновывать решения, оценивать их эффективность.
40-49	Выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и по существу излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, но допускающему не критичные неточности в ответе
29-39	Выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно точно формулирующему базовые понятия.
>29	Выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины

4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Основные теоретические вопросы (ИПК 1.1, ИОПК 2.2) по разделам дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Вопросы
1.	Особенности взаимодействия ускоренных электронов с твердым телом. Электронные пучки	Функция потерь энергии электронов по глубине. Длина пробега. Тепловые процессы при воздействии электронного пучка. Зона термического влияния. Плавление и испарение. Ударно-волновые процессы при воздействии электронного пучка. Динамические и остаточные поля напряжений в мишени. Гидродинамические и капиллярные явления. Кратерообразование. Перекристаллизация поверхностного слоя. Морфология и рост кристаллов при сверхскоростной закалке. Текстура и аморфизация. Структура быстрозакаленных сплавов
2.	Особенности взаимодействия ускоренных ионов с твердым телом. Ионная имплантация и ионное перемешивание	Функция потерь энергии ионов по глубине. Торможение и рассеяние ионов. Профили распределения ионов по глубине. Каскады атомных столкновений. Ионная имплантация и ионное перемешивание. Твердофазная аморфизация. Эрозия твердых тел ионами. Динамические и квазистатические напряжения. Радиационно-стимулированная диффузия. Формирование пор и кластеров из дефектов. Блистеринг. Физико-химические свойства ионно-легированных материалов
3.	Вакуумные и ионно-плазменные методы осаждения покрытий	Ионно-плазменные и плазмохимические методы нанесения покрытий. Основы физики катодных процессов. Магнетронные распылительные системы. Зарождение и рост покрытий. Столбчатый рост и текстура. Модель зон Торнтона. Температурная зависимость структуры покрытий. Адгезия покрытий к подложке и способы повышения адгезионной прочности. Упруго-напряженное состояние системы «покрытие/подложка». Физические принципы выбора состава и условий осаждения покрытий

Информация о разработчиках

Дьяченко Филипп Анатольевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики металлов ФФ НИ ТГУ.