

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

О.Н. Здрок

«30»

2020 г.

Регистрационный № УД- 9149 /уч.

ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности магистратуры**

1-31 80 20 Прикладная физика

Профилизация: Функциональные наноматериалы

Минск 2020

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 80 20-2019 и учебного плана № G31-024/уч. от 11.04.2019 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

В.В. Углов — заведующий кафедрой физики твердого тела Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕЦЕНЗЕНТ:

В.Е. Борисенко — заведующий кафедрой микро- и наноэлектроники Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физики твердого тела физического факультета
Белорусского государственного университета
(протокол № 3 от 15.09.2020 г.);

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 1 от 28.09.2020 г.)

Заведующий кафедрой



В.В. Углов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Программа учебной дисциплины «Ядерные технологии в материаловедении» разработана в соответствии с требованиями образовательного стандарта ОСВО 1-31 80 20-2019 для специальности 1-31 80 20 Прикладная физика, профилизации «Функциональные наноматериалы».

Цель учебной дисциплины – познакомить студентов с использованием современных ядерно-физических технологий в области материаловедения при модифицировании и создании новых материалов, а также для их диагностики.

В учебной дисциплине рассматриваются основы взаимодействия ионизирующего излучения, пучков заряженных частиц и плазмы с поверхностью материалов, приводящего к модифицированию структуры и физических свойств. Рассматриваются общие принципы генерации, ускорения и транспортировки пучков заряженных частиц, а также описываются эффекты их взаимодействия с материалами.

Задачей учебной дисциплины является изучение основных математических моделей в физике твердого тела, а также физических основ современных методов модифицирования структуры и свойств твердых тел с помощью плазменных технологий.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием (магистра).

Учебная дисциплина относится к модулю «Техническая физика» компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами: дисциплина необходима для изучения методов модифицирования материалов в курсе «Лазерная обработка материалов», а также для изучения структурных превращений в металлах и сплавах в курсе «Физическое материаловедение».

Изучение дисциплины «Ядерные технологии в материаловедении» проходит совместно с дисциплинами «Физико-химия поверхности», «Техника современного эксперимента», «Современные проблемы физики».

В результате изучения дисциплины студенты должны:

знать:

- основные законы взаимодействия ионизирующего излучения с веществом;
- принципы модифицирования структуры и свойств материалов пучками заряженных частиц и плазмы;
- физические основы генерации и ускорения заряженных частиц и плазмы.

уметь:

- рассчитывать энергетические потери, пробеги, термические эффекты и количество структурных дефектов в материалах при воздействии ионизирующего излучения;
- грамотно выбирать метод модифицирования материала;

- использовать ядерно-физические методы диагностики материалов.

владеть:

- базовыми принципами прогнозирования изменения структурно-фазового состояния твердых тел при воздействии на них концентрированными потоками частиц;
- ядерно-физическими методами диагностики материалов.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Ядерные технологии в материаловедении» должно обеспечить формирование следующей **специализированной** компетенции:

СК-4. Быть способным использовать знание законов ядерной физики, ядерных реакций и особенностей взаимодействия ионизирующего излучения с веществом для разработки технологий создания и модификации материалов.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается во 2 семестре дневной формы второй ступени получения высшего образования. Всего на изучение учебной дисциплины «Ядерные технологии в материаловедении» отведено 120 часов, в том числе 48 аудиторных часов, из них: лекции – 32 часа, семинарские занятия – 8 часов, управляемая самостоятельная работа – 8 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма итоговой аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Классификация ядерно-физических методов модифицирования и анализа материалов.

1.1. Предмет дисциплины «Ядерные технологии в материаловедении». Общие принципы и подходы использования пучков заряженных частиц для модифицирования и анализа материалов.

Тема 2. Физические процессы при взаимодействии заряженных частиц с твердым телом.

2.1. Торможение и рассеяние ионов. Генерация радиационных дефектов и их пространственное распределение.

2.2. Пробеги ионов и их распределение в твердых телах. Каналирование.

2.3. Распыление твердых тел.

2.4. Нагрев, испарение и абляция материалов при воздействии с пучками заряженных частиц.

Тема 3. Ускорители и генераторы пучков заряженных частиц и плазмы.

3.1. Ускорители и генераторы пучков заряженных частиц. Плазменные ускорители и установки. Особенности технологического применения пучков заряженных частиц и плазмы.

Тема 4. Ионная имплантация в полупроводники и металлы.

4.1. Изменение свойств полупроводников при ионной имплантации.

4.2. Процессы в проводниках при отжиге в процессе ионной имплантации.

4.3. Модификация металлов и сплавов при ионной имплантации.

Тема 5. Модификация твердых тел электронными пучками.

5.1. Особенности взаимодействия электронных пучков с твердыми телами. Получение пленок и покрытий. Модификация поверхности материалов.

Тема 6. Модификация твердых тел мощными ионными пучками.

6.1. Особенности взаимодействия мощных ионных пучков с твердыми телами. Технологическое применение мощных ионных пучков.

Тема 7. Плазменные потоки и их применение.

7.1. Общая характеристика плазмы. Модификация поверхности плазменными пучками. Потоки высокотемпературной плазмы и их применение.

7.2. Плазменные технологии в установках управляемого термоядерного синтеза. Проблема первой стенки реактора.

7.3. Вакуумно-плазменное осаждение покрытий. Магнетронное формирование покрытий.

Тема 8. Ядерно-физические методы исследования материалов.

8.1. Источники нейтронов. Особенности рассеяния тепловых нейтронов. Структурная нейтронография.

8.2. Резерфордовское обратное рассеяние. Метод ядерных реакций.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Классификация ядерно-физических методов модифицирования и анализа материалов	2						
1.1	Предмет дисциплины «Ядерные технологии в материаловедении». Общие принципы и подходы использования пучков заряженных частиц для модифицирования и анализа материалов.	2						Устный опрос, дискуссия
2	Физические процессы при взаимодействии заряженных частиц с твердым телом	8		4			2	
2.1	Торможение и рассеяние ионов. Генерация радиационных дефектов и их пространственное распределение.	2						Устный опрос, дискуссия
2.2	Пробеги ионов и их распределение в твердых телах. Каналирование.	2						Устный опрос, дискуссия
2.3	Распыление твердых тел.	2						Устный опрос, дискуссия
2.4	Нагрев, испарение и абляция материалов при воздействии с пучками заряженных частиц.	2		4			2	Контрольная работа
3	Ускорители и генераторы пучков заряженных частиц и плазмы.	2						

3.1	Ускорители и генераторы пучков заряженных частиц. Плазменные ускорители и установки. Особенности технологического применения пучков заряженных частиц и плазмы.	2						Устный опрос, дискуссия
4	Ионная имплантация в полупроводники и металлы.	6						
4.1	Изменение свойств полупроводников при ионной имплантации.	2						Устный опрос, дискуссия.
4.2	Процессы в проводниках при отжиге в процессе ионной имплантации.	2						Устный опрос, дискуссия.
4.3	Модификация металлов и сплавов при ионной имплантации.	2						Устный опрос, дискуссия.
5	Модификация твердых тел электронными пучками.	2						
5.1	Особенности взаимодействия электронных пучков с твердыми телами. Получение пленок и покрытий. Модификация поверхности материалов.	2						Устный опрос, дискуссия
6	Модификация твердых тел мощными ионными пучками.	2					2	
6.1	Особенности взаимодействия мощных ионных пучков с твердыми телами. Технологическое применение мощных ионных пучков.	2					2	Контрольная работа
7	Плазменные потоки и их применение.	6						
7.1	Общая характеристика плазмы. Модификация поверхности плазменными пучками. Потоки высокотемпературной плазмы и их применение.	2						Устный опрос, дискуссия
7.2	Плазменные технологии в установках управляемого термоядерного синтеза. Проблема первой стенки реактора.	2						Устный опрос, дискуссия

7.3	Вакуумно-плазменное осаждение покрытий. Магнетронное формирование покрытий.	2						Устный опрос, дискуссия
8	Ядерно-физические методы исследования материалов.	4		4			4	
8.1	Источники нейтронов. Особенности рассеяния тепловых нейтронов. Структурная нейтронография.	2						Устный опрос, дискуссия
8.2	Резерфордовское обратное рассеяние. Метод ядерных реакций.	2		4			4	Контрольная работа, защита рефератов
	ИТОГО	32		8			8	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Г.Г. Бондаренко. Радиационная физика, структура и прочность твердых тел. М.: Лаборатория знаний, 2016. – 462 с.
2. Перспективные радиационно-пучковые технологии обработки материалов. Учебник. Под ред. Б.А. Калина. М. Круглый год. 2001, 528 с.
3. Х.Риссел, И. Руге. Ионная имплантация. М.:Наука. 1983. – 362 с.
4. Ионная имплантация. Под ред. Дж.К. Хирвонена. М.: Металлургия
5. Ф.Ф. Комаров, А.П. Новиков, А.Ф. Буренков. Ионная имплантация. Мн.: Універсітэцкае. 1994. – 303 с.
6. Синтез наноразмерных материалов при воздействии мощных потоков энергии на вещество / А.В. Булгаков, Н.М. Булгакова, И.М. Бураков и др. – Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 2009, - 462 с.
7. Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками / Под ред. Дж. М. Поута и др. – М.: Машиностроение, 1987. – 424 с.
8. В.М. Анищик, В.В. Углов. Модификация инструментальных материалов ионными и плазменными пучками. 2003, - Мн.: БГУ, - 191 с.
9. Ф. Чен. Введение в физику плазмы: пер. с англ. – М., Мир 1987.- 398 с.
10. В.В. Углов, Н.Н. Черенда, В.М. Анищик, В.М. Асташинский, Н.Т. Квасов. Модификация материалов компрессионными плазменными потоками. Минск: БГУ, 2013, 248 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Фазовые превращения при облучении. Под ред. Ф.В. Нолфи. Металлургия. 1989. – 312 с.
2. М.А. Кумахов, Ф.Ф. Комаров. Энергетические потери и пробеги ионов в твердых телах. Мн.: БГУ. 1979. – 320 с.
3. В.А. Барвинок. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. М.: Машиностроение. 1990. – 384 с.
4. А.Н. Диденко, А.Е. Лигачев, И.Б. Куракин. Воздействие пучков заряженных частиц на поверхность металлов и сплавов. М.: Энергоатомиздат, 1967. – 184 с.
5. Физика и применение плазменных ускорителей. Под ред. А.И. Морозова. Мн.: Наука и техника, 1974, 395 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Формой текущей аттестации по дисциплине «Ядерные технологии в материаловедении» учебным планом предусмотрен экзамен.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения.

Контрольные работы проводятся в письменном виде. Каждое задание включает в себя от 5 до 10 вопросов (задач, тестовых заданий), на выполнение которых отводится 90 минут. По согласованию с преподавателем при выполнении работы студенты могут пользоваться калькуляторами и справочными пособиями.

Рейтинговая оценка является средневзвешенной оценкой трех контрольных работ и защиты реферативной работы $T_P = (K_1 + K_2 + K_3 + K_4)/4$.

В случае пропуска контрольного мероприятия возможность выделения дополнительного времени на выполнение данных заданий определяется кафедрой, обеспечивающей данный курс. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить нагрузку в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные работы, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно, до сессии.

Итоговая оценка, выставляемая за изучение данного курса (T_{II}) складывается из экзаменационной оценки $T_{Э}$, полученной на экзамене при ответе на вопросы билета, и рейтинговой оценки T_P : с соответствующими коэффициентами $T_{II} = 0,7T_{Э} + 0,3T_P$

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

В рамках управляемой самостоятельной работы студент выполняет контрольные работы по темам учебной дисциплины. На выполнение каждой контрольной работы отводится 90 минут, выполненная работа оценивается по десятибалльной системе.

Контрольная работа № 1 выполняется после изучения темы 2.4. «Нагрев, испарение и абляция материалов при воздействии с пучками заряженных частиц».

Примерный перечень вопросов:

- расчет энергетических потерь при торможении ионов в веществе;
- расчет среднеквадратичного пробега ионов в твердых телах;
- определение коэффициента распыления поверхности материала ионами;
- определение температуры нагрева поверхности материала при ионном воздействии.

Контрольная работа № 2 выполняется после изучения темы 6.1 «Особенности взаимодействия мощных ионных пучков с твердыми телами. Технологическое применение мощных ионных пучков».

Примерный перечень вопросов:

- общие принципы устройства ускорителей электронов и ионов;
- расчет пробегов электронов и их энергетических потерь в веществе;
- изменение свойств металлов и сплавов при ионной имплантации.

Контрольная работа № 3 выполняется после изучения темы 8.2 «Резерфордовское обратное рассеяние. Метод ядерных реакций».

Примерный перечень вопросов:

- общие принципы работы плазменных ускорителей;
- модифицирование материалов плазменными потоками;
- методы формирования тонких пленок вакуумно-плазменными методами;
- определение элементного состава материалов ядерно-физическими методами.

Защита реферативных работ происходит после изучения темы 8.2 «Резерфордовское обратное рассеяние. Метод ядерных реакций» и представляет собой представление презентаций и устных сообщений по предварительно выбранной тематике.

Примерный перечень реферативных работ

1. Плазменные ускорители.
2. Принципы генерации потоков плотной компрессионной плазмы.
3. Модифицирование структуры и свойств сталей плазменными потоками.
4. Модифицирование структуры и свойств титановых сплавов плазменными потоками.
5. Создание наноструктур при высокоинтенсивной импульсной ионной имплантации.
6. Модификация структуры и свойств металлов импульсными высокоинтенсивными электронными пучками.
7. Принципы выбора материалов первой стенки термоядерного реактора.
8. Радиационные повреждения в первой стенке термоядерного реактора.
9. Вакуумно-дуговой метод формирования защитных покрытий.
10. Магнетронный метод формирования тонких пленок.

Примерный перечень тем семинарских занятий

Семинарские занятия проводятся при изучении темы 2. «Физические процессы при взаимодействии заряженных частиц с твердым телом» и темы 8. «Ядерно-физические методы исследования материалов» с целью более глубокого освоения лекционного материала. На семинарских занятиях рассматриваются вопросы:

- Практические методы оценки пробегов ионов в материалах.
- Расчет концентрации дефектов в твердых телах при ионном облучении.

- Использование метода Резерфордского обратного рассеяния для анализа элементного состава материалов.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса *используются методы и приемы развития критического мышления*, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией; понимании информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления. Формой реализации метода может выступать подготовка устных сообщений по вопросам, связанным с методами электронного, ионного, нейтронного, плазменного воздействия на материалы, рассмотрение которых происходит в процессе лекционных занятий.

Желательным является применение *метода учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Реализацию метода рекомендуется осуществлять во время представления кратких сообщений студентов, организовав дискуссию обучающихся, а также в ходе самих лекций. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Основными направлениями самостоятельной работы студента являются:

- подробное ознакомление с программой учебной дисциплины;
- ознакомление со списком рекомендуемой литературы по дисциплине в целом и ее разделам;
- изучение и расширение лекционного материала преподавателя за счет специальной литературы, в частности, современных научных публикаций по изучаемым темам;
- подготовка к контрольным работам;
- подготовка и защита реферативных работ;
- подготовка к семинарским занятиям, самостоятельное решение задач на семинарских занятиях;
- подготовка к экзамену.

Примерный перечень вопросов к экзамену

Билет на экзамене включает два вопроса, на подготовку которых отводится не менее 45 минут. При подготовке к устному ответу допускается использование учебной и научной литературы. Вопросы в состав билетов выбираются из следующего примерного перечня:

1. Торможение ионов в твердом теле.
2. Рассеяние ионов при взаимодействии с веществом.
3. Радиационные дефекты в кристаллах.
4. Пространственное распределение радиационных дефектов.
5. Пробеги ионов в твердых телах.
6. Каналирование.
7. Ионное распыление поверхности материалов.
8. Термические процессы при взаимодействии ионов с поверхностью.
9. Физические принципы генерации заряженных частиц.
10. Физические принципы ускорения заряженных частиц.
11. Ионная имплантация.
12. Изменение свойств полупроводников при ионной имплантации.
13. Изменение свойств металлов при ионной имплантации.
14. Особенности высокотемпературной ионной имплантации.
15. Физические принципы получения электронных пучков.
16. Модификация поверхности материалов электронными пучками.
17. Особенности взаимодействия мощных ионных пучков с кристаллами.
18. Общие свойства плазменного состояния вещества.
19. Модификация поверхности материалов плазменными потоками.
20. Плазменные ускорители. Потоки высокотемпературной плазмы.
21. Установки управляемого термоядерного синтеза.
22. Материалы первой стенки в термоядерном реакторе.
23. Вакуумно-плазменное осаждение покрытий.
24. Магнетронные технологии формирования тонких пленок.
25. Источники нейтронов.
26. Особенности рассеяния нейтронов.
27. Структурная нейтронография.
28. Физические принципы резерфордовского обратного рассеяния.
29. Применение резерфордовского обратного рассеяния для анализа поверхности материалов.
30. Метод ядерных реакций.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Физическое материаловедение	Кафедра физики твердого тела	нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 3 от 15.09.2020)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО

на ____/____ учебный год

№ № пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № ____ от _____ 20__ г.)

Заведующий кафедрой
физики твердого тела
д.ф.-м.н., профессор

_____ В.В. Углов

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
к.ф.-м.н., доцент

_____ М.С. Тиванов