

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович
Должность: Проректор по учебной и методической работе
Дата подписания: 13.11.2023 16:27:00
Уникальный программный ключ:
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной
и методической работе
_____ Б.В.Пекаревский
«01» марта 2021 г.

Рабочая программа дисциплины
РАДИАЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Направление подготовки

18.05.02 Химическая технология материалов современной энергетики

Специализация

Радиационная химия и радиационное материаловедение

Квалификация

Инженер

Форма обучения

Очная

Факультет **инженерно-технологический**

Кафедра **радиационной технологии**

Санкт-Петербург

2021

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность разработчика	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Доцент		Панасюк С.Л.

Рабочая программа дисциплины «Радиационное материаловедение» обсуждена на заседании кафедры радиационной технологии
протокол от «17» февраля 2021 № 2
Заведующий кафедрой

И.В. Юдин

Одобрено учебно-методической комиссией инженерно-технологического факультета
протокол от «25» февраля 2021 № 5

Председатель

А.П. Сусла

СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Химическая технология материалов современной энергетики»		И.В. Юдин
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник учебно-методического управления		С.Н. Денисенко

СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	04
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.....	05
3. Объем дисциплины	05
4. Содержание дисциплины	
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.....	06
4.2. Занятия лекционного типа.....	06
4.3. Занятия семинарского типа.....	10
4.3.1. Семинары, практические занятия	10
4.3.2. Лабораторные занятия.....	10
4.4. Самостоятельная работа.....	10
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	11
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	11
7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины	12
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.....	13
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	14
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	
10.1. Информационные технологии.....	14
10.2. Программное обеспечение.....	14
10.3. Базы данных и информационные справочные системы.....	14
11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы	14
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья	14
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.	
2. Материалы, используемые при самоконтроле знаний студентов	

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

В результате освоения образовательной программы специалитета обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции ¹	Код и наименование индикатора достижения компетенции ²	Планируемые результаты обучения (дескрипторы) ³
ПК-7 Способность оценивать радиационную устойчивость различных материалов и разрабатывать процессы защиты этих материалов	ПК-7.1 Выбор методов исследования и прогнозирования возможных изменений свойств материалов в конкретных полях ионизирующего излучения и условиях эксплуатации и использование их для оценки радиационной стойкости различных материалов и разработки процессов их защиты	Знать: приемы оценки радиационной устойчивости различных материалов и разработки процессов защиты этих материалов, механизмы образования радиационных дефектов в твердых телах(ЗН-1); влияние структуры материала и условий облучения на развитие радиационного дефектообразования, виды наиболее характерных радиационных нарушений в различных материалах и способы их подавления (ЗН-2); Уметь: изучать изменения свойств материалов под действием различных типов и интенсивностей радиационных излучений, исследовать и прогнозировать радиационную стойкость материалов (У-1); Владеть: физико-химическими методами исследования радиационных повреждений в материалах современной энергетики, способами расчета и измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения (Н-1).

¹ Содержание и номер компетенции в точности соответствует ФГОС ВО и отображается в матрице компетенций для конкретной дисциплины

² Код индикатора присваивается руководителем направления подготовки, отображается в матрице компетенции и доводится разработчиком РПД. Повторение кодов индикаторов для конкретной компетенции, реализуемой разными дисциплинами, не допускается

³ Дескрипторы переносятся из матрицы компетенций без смены формулировок

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина относится к дисциплинам специализации базовой части (Б1.В.06.02) и изучается на 4 и 5 курсе в 8 и 9 семестре.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин: «Релаксационные методы исследования радиационно-химических процессов», «Методы аналитического контроля в производстве материалов современной энергетики», «Материаловедение», «Введение в физику конденсированного состояния вещества».

Полученные в процессе изучения дисциплины знания и умения могут быть использованы при изучении последующих учебных дисциплин, прохождении практик, при выполнении выпускной квалификационной работы (государственной итоговой аттестации) и в дальнейшей трудовой деятельности.

3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, академических часов	Семестр	
		8	9
Общая трудоемкость дисциплины (зачетных единиц/ академических часов)	8/288	3/144	5/144
Контактная работа с преподавателем:	138	48	90
занятия лекционного типа	32	32	
занятия семинарского типа, в т.ч.	142	16	126
семинары, практические занятия	52	16	36
лабораторные работы	90		90
курсовое проектирование (КР или КП)			
КСР			
другие виды контактной работы			
Самостоятельная работа	78	24	54
Форма текущего контроля (Кр, реферат, РГР, эссе)	-		
Форма промежуточной аттестации (КР, КП, зачет, экзамен)	Экзамен, зачет	Экзамен	зачет

4. Содержание дисциплины.

4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции	Формируемые индикаторы
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы			
1.	Предмет радиационного материаловедения (Введение)	2	2		8	ПК-7	ПК-7.1
2.	Механизмы образования радиационных дефектов	6	6	8	6	ПК-7	ПК-7.1
3.	Кинетика накопления вакансий и междоузельных атомов	4	6	8	20	ПК-7	ПК-7.1
4.	Отжиг радиационных дефектов	4	2	12	10	ПК-7	ПК-7.1
5.	Радиационные дефекты в металлах	6	12	8	12	ПК-7	ПК-7.1
6.	Радиационные дефекты в полупроводниках	6	12	18	14	ПК-7	ПК-7.1
7.	Радиационные дефекты в неорганических и органических диэлектриках	4	12	36	8	ПК-7	ПК-7.1
	ИТОГО	32	52	90	78		

4.2. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	Введение. Изменение физико-механических свойств материалов в полях ионизирующего излучения реакторов деления тяжелых и синтеза легких ядер, ускорителей заряженных частиц и изотопных источников. Представления о механизмах образования радиационных дефектов	2	Лекция-визуализация

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
2	<p>Механизмы образования радиационных дефектов. Передача энергии при столкновении атомов. Резерфордские столкновения, представление об экранированных потенциалах взаимодействия, столкновение по закону упругих шаров. Вычисление пороговой энергии первично выбитого атома. Определение энергии атомного смещения. Сечение образования и пробег смещенных атомов. Средняя энергия, передаваемая смещенным атомам. Каскады смещенных атомов и каскадная функция. Тепловые пики и пики смещения. Образование смещенных атомов при облучении твердых тел быстрыми и тепловыми нейтронами, заряженными частицами (тяжелые ионы, альфа-частицы, протоны, электроны) и гамма-квантами. Дефектообразование при альфа- и бета-распаде радионуклидов, распределенных в твердых телах. Ориентационные эффекты при радиационном дефектообразовании в кристаллах. Каналирование частиц и атомов. Фокусировка атомных столкновений (фокусоны, динамические краудионы)</p>	6	Лекция-визуализация
3	<p>Кинетика накопления вакансий и межузельных атомов. Кинетическое уравнение Смолуховского для диффузионно-контролируемых реакций. Уравнение скорости рекомбинации радиационных дефектов. Уравнения скоростей стока вакансий и межузельных атомов на протяженные дефекты (дислокационные петли, дислокации, вакансионные поры, фазовые выделения). Определение постоянной времени насыщения материала межузельными атомами и вакансиями при различных условиях облучения. Вычисление концентрации дефектов на начальной стадии облучения, определение рекомбинационного объема. Вычисление концентрации радиационных дефектов с учетом стока вакансий и межузельных атомов на дислокации, определение коэффициента диффузии вакансий. Уравнение баланса в стационарном режиме генерации радиационных дефектов</p>	4	Лекция-визуализация
4	<p>Отжиг радиационных дефектов. Стадии отжига радиационных дефектов в области 5 – 600 К. Определение температурного интервала устойчивости различного типа межузельных и вакансионных дефектов, энергий активации миграции дефектов и порядка кинетики процесса разрушения дефектов</p>	4	Лекция-визуализация

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
5	<p>Радиационные эффекты в металлах. Вакансионное распухание. Зарождение и рост вакансионных пор. Температурная зависимость вакансионного распухания. Гиперрешетка пор. Коалесценция пор. Способы подавления вакансионного распухания. Радиационный рост. Влияние типа кристаллической решетки и текстуры материала на коэффициент радиационного роста и его температурная зависимость. Способы подавления радиационного роста. Влияние облучения на прочностные характеристики. Диаграмма "напряжение - деформация" и ее изменение после облучения металла. Низко- и высокотемпературное охрупчивание. Изменение температуры вязко-хрупкого перехода. Радиационно-ускоренная ползучесть. Ионное распыление. Коэффициент и скорость распыления. Зависимость коэффициента распыления от энергии и угла падения ионов, температуры образца и его кристаллической ориентации. Блистеринг, причины его образования и методы подавления</p>	6	Лекция-визуализация
6	<p>Радиационные эффекты в полупроводниковых материалах. Энергия фотопроводимости, термостимулированной гамма-проводимости и образования электронно-дырочной пары в полупроводнике, находящемся в поле ионизирующего излучения. Конверсия проводимости, изменение времени жизни носителей тока в облученных полупроводниках. Проявление подпорогового механизма образования радиационных дефектов (механизм электростатической неустойчивости). Распределение радиационных дефектов в полупроводниковых соединениях, полученных методом ионной имплантации. Эффект малых доз при снятии напряжений в устройстве металл-диэлектрик-полупроводник (тензорadiационный эффект). Радиационная мутация полупроводниковых материалов</p>	6	Лекция-визуализация

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
7	<p>Радиационные эффекты в неорганических и органических диэлектриках.</p> <p>Подпороговый механизм образования радиационных дефектов в ионных кристаллах, и его экспериментальное обоснование. Критерии образования радиационных дефектов по механизму вибронной неустойчивости возбужденной электронной подсистемы.</p> <p>Качественная оценка эффективности образования F-центров в щелочно-галлоидных кристаллах.</p> <p>Особенности радиационных изменений в стеклах. Собственные и примесные радиационные дефекты в кварцевом стекле. Фотоиндуцирование и радиационные превращения в халькогенидных стеклах, обусловленные их структурной неустойчивостью.</p> <p>Радиационные эффекты в керамических материалах, приводящие к изменению их электрофизических свойств (проводимость, диэлектрические потери, электрическая прочность). Действие гамма-излучения и нейтронов на корундовую керамику, влияние наведенной радиоактивности.</p> <p>Радиолиз органических соединений. Газообразные продукты радиолиза, их количественная оценка. Устойчивость к ионизирующему излучению различных связей и структур органических веществ, влияние антирадов и антиоксидантов.</p> <p>Образование в облученных диэлектриках разделенных электрических зарядов, способы их регистрации. Кинетика накопления и время релаксации электрических зарядов.</p> <p>Внутренний электрический пробой, фигуры Лихтенберга</p>	4	Лекция-визуализация

4.3. Занятия семинарского типа.

4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
2	Потенциалы взаимодействия и сечения упругого смещения атомов при различных энергиях падающих частиц	2	
2	Вычисление скорости образования смещенных атомов при облучении материалов нейтральными и заряженными частицами	6	
3	Подпороговый механизмы образования дефектов. Сравнение эффективностей ударного и подпорогового механизмов образования радиационных дефектов	4	
4	Решение кинетических уравнений, описывающих накопление радиационных дефектов на разных стадиях облучения.	2	
4	Отжиг радиационных дефектов	2	
5, 6, 7	Скорость зарождения и роста новой фазы в облученных материалах	36	

4.3.2. Лабораторные занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость (час)
2, 3, 5, 6	Моделирование радиационных процессов в металлах и полупроводниках (средняя длина свободного пробега, каскад атомных столкновений в изотропном материале, образование вакансионных кластеров).	30
4, 7	Термолюминесцентный метод исследования радиационных дефектов	22
6	Время жизни носителей тока в облученных полупроводниках	8
7	Строение и свойства радиационных дефектов в ионных кристаллах; Микротвердость облученных щелочно-галогидных кристаллов	30

4.4. Самостоятельная работа обучающихся.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма текущего контроля
1	Физические основы моделирования радиационных нарушений. Приемы критического оценивания достоинств и недостатков разрабатываемых планов, программ и методик проведения исследований материалов и технологических процессов. Приемы планирования и выбора средства развития	8	

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма текущего контроля
2	Взаимодействия ионизирующих частиц с веществом, приводящие к образованию межузельных атомов и вакансий	6	
3	Использование уравнений кинетики диффузионно-контролируемых реакций для вычисления накопления и отжига радиационных дефектов	6	Индивидуальное задание 1
3	Виды подпороговых механизмов образования радиационных нарушений в различных материалах	8	
3	Особенности эксплуатации конструкционных материалов в ядерно-энергетических установках, основанных на делении тяжелых и синтезе легких ядер	6	
4	Радиационные нарушения в ядерном топливе реакторов деления	8	
5	Радиационное охрупчивание, ползучесть и вакансионное распухание металлов, сталей и сплавов	10	Индивидуальное задание 2
6	Использование радиационной технологии при изготовлении полупроводниковых приборов	6	
7	Радиационно-стойкие и радиационно-чувствительные диэлектрики	6	
6	Оптические методы исследования радиационных дефектов в ионных кристаллах	6	
4, 5, 6, 7	Возможности электронной и автоэлектронной микроскопии исследовании радиационного дефектообразования в твердых телах	8	

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

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <https://media.technolog.edu.ru>

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («удовлетворительно») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена в 8 семестре и зачета в 9 семестре.

К сдаче экзамена допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля.

Экзамен предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций. При сдаче экзамена, студент получает два вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу - до 45 мин.

К сдаче зачета допускаются студенты, выполнившие все предусмотренные планом лабораторные работы.

При сдаче зачета, студент получает два вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин.

Пример варианта вопросов на экзамене:

Вариант № 1

1. Ударный механизм образования радиационных дефектов. Передача энергии при столкновении атомов. Потенциалы взаимодействия сталкивающихся атомов.
2. Температурная зависимость вакансионного распухания. Коалесценция пор. Способы подавления радиационного распухания.

Результаты освоения дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций достигнут пороговый уровень освоения компетенции: для экзамена – оценка «удовлетворительно», для зачета «зачет».

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1

7. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины.

а) печатные издания:

1. Трушин, Ю.В. Физические основы материаловедения: учебное пособие /Ю.В.Трушин Издание второе (переработанное и дополненное): Санкт-Петербург. : Издательство Академического университетата, 2015. – 356 с. ISBN 978-5-9064-3304-6
2. Экспериментальные методы химии высоких энергий: учебное пособие /Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова ; Под общ. ред. М.Я.Мельникова. – Москва : МГУ, 2009. – 824 с.- ISBN 978-5-211-05561-2
3. Штанько, В.И. Образование, накопление и отжиг радиационных дефектов: учебное пособие / В.И. Штанько, Г.Е. Гладышев.-Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра радиационной технологии. – СПбГТИ(ТУ), 2013.- 34 с.
4. Штанько, В.И. Оптические свойства облучённых кристаллов CsBr-In: методические указания / В.И. Штанько, Г.Е. Гладышев.- Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра радиационной технологии. – СПбГТИ(ТУ), 2012.- 21с.
5. Гладышев, Г.Е. Влияние ионизирующего излучения на микротвёрдость щелочно-галлоидных кристаллов / Г.Е. Гладышев, В.И. Штанько.- Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра радиационной технологии. СПбГТИ(ТУ), 2012.- 16с.
6. Штанько, В.И. Металлические частицы в облучённых кристаллах: методические указания / В.И. Штанько, В.И. Хохреков, Н.В. Чумак.- Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра радиационной технологии. СПбГТИ(ТУ), 2012.- 19с.
7. Штанько, В.И. Подпороговый механизм образования радиационных дефектов в ионных кристаллах: учебное пособие/ В.И. Штанько.- Министерство

образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра радиационной технологии.. СПбГТИ(ТУ), 2006.- 34с.

б) электронные учебные издания:

1. Штанько, В.И. Оптические свойства облучённых кристаллов CsBr-In: методические указания / В.И. Штанько, Г.Е. Гладышев.- Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра радиационной технологии. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012.- 21с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 14.02.2021). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей

2. Гладышев, Г.Е. Влияние ионизирующего излучения на микротвёрдость щелочно-галлоидных кристаллов / Г.Е. Гладышев, В.И. Штанько.- Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра радиационной технологии. СПбГТИ(ТУ), 2012.- 16с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 14.02.2021). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей

3. Штанько, В.И. Металлические частицы в облучённых кристаллах: методические указания / В.И. Штанько, В.И. Хохреков, Н.В. Чумак.- Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра радиационной технологии. СПбГТИ(ТУ), 2012.- 19с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 14.02.2021). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей

4. Штанько, В.И. Подпороговый механизм образования радиационных дефектов в ионных кристаллах: учебное пособие/ В.И. Штанько.- Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра радиационной технологии.. СПбГТИ(ТУ), 2006.- 34с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. - URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 14.02.2021). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей

8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.

1. Государственная корпорация по атомной энергии "Росатом". Режим доступа www.rosatom.ru,
2. Сайт Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Режим доступа www.gosnadzor.ru,
3. АО «Концерн Росэнергоатом». Режим доступа -www.rosenergoatom.ru,
4. Государственная публичная научно-техническая библиотека. Режим доступа - <http://www.gpntb.ru>.
5. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU Режим доступа - <http://elibrary.ru>
6. Электронно-библиотечные системы:
«Электронный читальный зал – БиблиоТех» - <https://technolog.bibliotech.ru>; «Лань » <https://e.lanbook.com/books>

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Все виды занятий по дисциплине «Радиационное материаловедение» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТП СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018-2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 048-2009. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

- плановость в организации учебной работы;
- серьезное отношение к изучению материала;
- постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходить, имея знания по уже изученному материалу.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

10.1. Информационные технологии.

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций;
- взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

10.2. Программное обеспечение⁴.

Microsoft Office (Microsoft Excel);

10.3. Базы данных и информационные справочные системы.

Справочно-поисковая система «Консультант-Плюс»

11. Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы⁵.

12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014.

⁴ В разделе отображаются комплекты лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для обеспечения дисциплины

⁵ В разделе отображается состав помещений, которые представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой по дисциплине, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

**Фонд оценочных средств
для проведения промежуточной аттестации по
дисциплине «Радиационное материаловедение»**

1. Перечень компетенций и этапов их формирования.

Индекс компетенции	Формулировка	Этап формирования
ПК-7	Способность оценивать радиационную устойчивость различных материалов и разрабатывать процессы защиты этих материалов	промежуточный

2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
ПК-7.1 Выбор методов исследования и прогнозирования возможных изменений свойств материалов в конкретных полях ионизирующего излучения и условиях эксплуатации и использование их для оценки радиационной стойкости различных материалов и разработки процессов их защиты	Правильно выбирает способы оценки радиационных эффектов взаимодействия излучения с веществом Приводит примеры механизмов образования радиационных дефектов в твердых телах(ЗН-1)	Правильные ответы на вопросы №1, 13,14,19,20,23-30, 34-36 к экзамену и № 2, 3, 10, 15, 20, 23-25 на вопросы к зачету	Перечисляет способы оценки радиационных эффектов взаимодействия излучения с веществом с ошибками. Неточно выбирает критерии, необходимые для реализации того или иного механизма образования радиационных дефектов в твердых телах.	Перечисляет способы оценки радиационных эффектов взаимодействия излучения с веществом но путается в конкретных примерах Затрудняется в определении соотношения временных критериев образования радиационных дефектов с периодом колебаний кристаллической решетки.	Перечисляет способы оценки радиационных эффектов взаимодействия излучения с веществом, хорошо ориентируется в реальных примерах. Может применить эти знания для решения инженерных задач Безошибочно излагает механизмы образования радиационных дефектов в твердых телах.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	<p>Приводит примеры влияния структуры материалов на и условий облучения на развитие радиационного дефектообразования</p> <p>Перечисляет виды наиболее характерных радиационных нарушений в различных материалах и способы их подавления (ЗН-2)</p>	<p>Правильные ответы на вопросы № 6, 12, 15-18 к экзамену и № 8, 9, 11, 16-19, 26-30 к зачету</p>	<p>Имеет представление о выборе методов исследования и прогнозирования возможных изменений свойств материалов в некоторых полях ионизирующего излучения, о видах радиационных нарушений и способах их подавления, но излагает с ошибками</p>	<p>Может привести примеры выбора методов исследования и прогнозирования возможных изменений свойств материалов в конкретных полях ионизирующего излучения, виды радиационных нарушений и способы их подавления с помощью наводящих вопросов</p>	<p>Способен самостоятельно привести примеры выбора методов исследования и прогнозирования возможных изменений свойств материалов в конкретных полях ионизирующего излучения, о видах радиационных нарушений и способах их подавления</p>

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	Анализирует методы изучения изменения свойств материалов под действием различных типов и интенсивностей радиационных излучений, способы исследования и прогнозирования радиационной устойчивости материалов (У-1)	Правильные ответы на вопросы №, 3-5, 7-11, 21, 22, 31-33 к экзамену и № 8, 12-14 к зачету	Ошибается в выборе методов определения тех или иных свойств под действием излучения. Способы исследования и прогнозирования радиационной устойчивости материалов перечисляет не в полном объеме.	Правильно излагает методы изучения изменения свойств материалов под действием излучений, способы исследования и прогнозирования радиационной устойчивости материалов, но путается в критериях применимости методов.	Способен самостоятельно провести анализ методов определения тех или иных свойств под действием излучения. Четко излагает способы исследования и прогнозирования радиационной устойчивости материалов.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	<p>Описывает алгоритм применения физико-химических методов исследования радиационных повреждений в материалах современной энергетики,</p> <p>демонстрирует способы расчета и измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения (Н-1).</p>	<p>Правильные ответы на вопросы № 2-11, 31-36 к экзамену и 2-8, 15,18, 21-23 к зачету</p>	<p>Слабо ориентируется в применимости конкретных методов исследования к различным типам радиационных повреждений, путается в способах расчета и измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения</p>	<p>Описывает алгоритм применения физико-химических методов исследования радиационных повреждений в материалах современной энергетики, демонстрирует способы расчета и измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения с небольшими ошибками.</p>	<p>Полно и без ошибок описывает алгоритм применения физико-химических методов исследования радиационных повреждений в материалах современной энергетики, демонстрирует способы расчета и измерения поглощенной дозы ионизирующего излучения</p>

3 Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации

3.1 Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации в форме экзамена.

Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПК-7:

При сдаче экзамена, студент получает два вопроса из перечня, приведенного ниже. Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 45 мин.

1. Ударный механизм образования радиационных дефектов. Передача энергии при столкновении атомов. Потенциалы взаимодействия сталкивающихся атомов.
2. Радиационное дефектообразование в материалах, содержащих β -радионуклиды.
3. Радиационное дефектообразование в материалах, содержащих альфа-радионуклиды.
4. Вычисление числа смещенных атомов в металлах, облучаемых нейтронами.
5. Вычисление числа смещенных атомов в металлах, облучаемых быстрыми электронами.
6. Сечение образования и пробег смещенных атомов. Каскады смещенных атомов, тепловые пики и пики смещения.
7. Уравнение баланса в стационарном режиме генерации радиационных дефектов.
8. Определение характерных времен насыщения облучаемого материала междоузельными атомами и вакансиями при наличии “сильных” стоков.
9. Вычисление концентрации дефектов на начальной стадии облучения. Определение рекомбинационного объема.
10. Вычисление концентрации радиационных дефектов с учетом рекомбинации и стока междоузельных атомов и вакансий на дислокации. Определение коэффициента диффузии вакансий.
11. Определение характерных времен насыщения облучаемого материала точечными дефектами при наличии “сильной” рекомбинации.
12. Стадии отжига различных типов радиационных дефектов в облученных материалах.
13. Ориентационные эффекты при радиационном дефектообразовании в кристаллах (каналирование частиц, фокусировка атомных столкновений).
14. Подпороговый механизм образования радиационных дефектов в ионных кристаллах, его экспериментальное обоснование.
15. Ионное распыление материалов. Зависимость коэффициента распыления от энергии и угла падения ионов, температуры образца и его кристаллографической ориентации.
16. Влияние облучения на прочностные характеристики металлов. Низко- и высокотемпературное охрупчивание. Изменение температуры вязко-хрупкого перехода. Радиационно-ускоренная ползучесть.
17. Блистеринг и причины его образования.
18. Радиационные эффекты в полупроводниковых материалах. Конверсия проводимости, изменение времен жизни носителей, радиационная мутация, эффект малых доз.
19. Температурная зависимость вакансионного распухания. Коалесценция пор. Способы подавления радиационного распухания.

20. Радиационный рост металлов. Коэффициент радиационного роста. Способы подавления радиационного роста.
21. Вакансионное распухание металлов. Образование зародышей, вакансионных пор и их рост.
22. Радиационные эффекты в керамических материалах, приводящие к изменению электрофизических свойств.
23. Особенности радиационных изменений в стеклах. Радиационные дефекты в кварцевых стеклах. Способы повышения радиационной стойкости волоконно-оптических линий связи.
24. Радиолиз органических соединений. Продукты радиолиза. Устойчивость к ионизирующему излучению различных связей и структур органических соединений. Использование добавок в качестве антирадов и антиоксидантов.
25. Радиационные изменения в стеклах. Подпороговый механизм радиационных превращений в халькогенидных стеклах, обусловленный их структурной неустойчивостью.
26. Образование в облученных диэлектриках разделенных электрических зарядов. Внутренний диэлектрический пробой.
27. Проявление подпорогового механизма образования радиационных дефектов (механизма электростатической неустойчивости) в полупроводниках.
28. Условия образования блистеров, эрозия поверхности. Способы минимизации распыления металлов и развития блистеринга в термоядерных установках.
29. Условия осевого и плоскостного каналирования заряженных частиц и атомов в кристаллах (угол входа частицы в канал, критическая энергия каналирования), примеры практического использования каналирования (исследование дефектности кристалла и его структуры, управление траекториями каналируемых частиц, образование квазимонохроматического фотонного излучения при каналировании электронов, ионизация каналированных электронов)
30. Простая и «линзовая» фокусировка соударений, параметр фокусировки и его зависимость от энергии смещенного атома, образование фокусонных и краудионов, причины затухания фокусированных соударений
31. Экспериментальные методы исследования отжига облученных образцов по изменению электрического сопротивления металлов и сплавов, наведенного облучением оптического поглощения диэлектриков и их термостимулированной люминесценции и экзоэлектронной эмиссии. Достоинства и недостатки.
32. Коалесценция пор, распределение пор по размерам в случаях контролирующей коалесценции механизмов объемной диффузии вакансий (1) или реакций вакансий на межфазной границе пора – твердое тело (2).
33. Экспериментальные методы изучения вакансионного распухания: электронная микроскопия, измерение плотности полученных образцов.
34. Виды электронных возбуждений в щелочно-галогенидных кристаллах, их автолокализация и последовательность релаксации, приводящей к образованию френкелевской пары дефектов F- и H-центров.
35. Критерии образования радиационных дефектов по механизму вибронной неустойчивости возбужденной электронной подсистемы ионных кристаллов.
36. Примеры строения собственных и примесных радиационных дефектов, образующихся в облученных ЩГК при различных температурах и поглощенных дозах

3.2 Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации в форме зачета

К зачету допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче зачета, студент получает два вопроса из перечня, приведенного ниже.

Время подготовки студента к устному ответу на вопросы - до 30 мин. промежуточная аттестация проводится в форме зачета, результат оценивания – «зачтено», «не зачтено».

Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПК-7:

1. Перечислите необходимые условия образования френкелевских дефектов по ударному механизму.
2. Как из экспериментальной зависимости $N_d=f(E_{I-})$, где E_{I-} - энергия взаимодействующих с веществом моноэнергетических электронов и N_d – количество образующихся радиационных дефектов, определить энергию образования дефекта E_d ?
3. В чем разница между пространственным распределением смещенных атомов, образующихся при упругом соударении по типу твердых шаров и кулоновском взаимодействии? Какая средняя энергия передается смещенным атомам в первом и втором случаях?
4. Что понимают под свободным пробегом, полной длиной пробега, поперечным пробегом, вектором пробега, глубиной проникновения смещенного атома? Какова зависимость этих величин от энергии смещенного атома?
5. Расчет скорости образования первичных радиационных дефектов (смещенных атомов и вакансий)
6. Вычисление количества первично выбитых атомов $N_{\text{пва}}$
7. Уравнение Смолуховского для диффузионо-контролируемых реакций, основные положения теории диффузионо-контролируемых реакций.
8. Экспериментальные методы исследования отжига облученных образцов по изменению электрического сопротивления металлов и сплавов, наведенного облучением оптического поглощения диэлектриков и их термостимулированной люминесценции и экзоэлектронной эмиссии. Достоинства и недостатки.
9. Основные стадии отжига облученных материалов в температурном интервале 5 – 600К.
10. Анализ кривых отжига в изотермическом режиме. Определение порядка реакции между дефектами, кинетического множителя, энергии активации.
11. Способы подавления вакансионного распухания.
12. Соотношение лапласовского (капиллярного) давления и упругого напряжения материала вокруг пузырька газа в зависимости от радиуса пузырька, причина «катастрофического» распухания.
13. Изменение под действием нейтронного облучения диаграммы «напряжение-деформация», пределов текучести и прочности, температуры вязко-хрупкого перехода и ударной вязкости.
14. Радиационная ползучесть. Стадии ползучести, влияние температуры и напряжения, предел ползучести. Влияние радиации на ползучесть, причины радиационно-стимулированной ползучести.
15. Энергия образования электронно-дырочной пары в полупроводнике, находящемся в поле ионизирующего излучения. Оценка мощности поглощенной дозы, приводящей к изменению параметров работы полупроводниковых приборов.
16. Изменение фотопроводимости и термостимулированная гамма-проводимость облученных полупроводников.
17. Методы обнаружения электрических зарядов в облученных диэлектриках. Внутренний электрический пробой, фигуры Лихтенберга.
18. Влияние радиации на электрофизические свойства (ЭФС) керамических материалов. Кристаллическая фаза, стеклофаза и воздушные поры - составные части керамики, их поведение в полях ионизирующего излучения и влияние на ЭФС (проводимость, диэлектрические потери, электрическую прочность).

19. Радиационные дефекты в кварцевом стекле: строение E'-центров; влияние примесных атомов на образование, строение радиационных дефектов и свойства облученного стекла.
20. Радиационная повреждаемость органических материалов. Обратимые и необратимые радиационные эффекты.
21. Какие виды сечений рассеяния используют для описания взаимодействия излучения с веществом?
22. Какие потенциалы позволяют получать аналитическое решение характеристик взаимодействия двух тел?
23. Как рассчитывается каскадная функция в модели Кинчина–Пиза?
24. Что такое эффект каналирования и блокировки? Какие виды каналирования возможны в твердом теле?
25. В чем суть эффекта простой фокусировки? Назовите условие реализации дополнительной фокусировки?
26. Какие виды распухания проявляются при облучении делящихся материалов?
27. Каковы основные механизмы радиационной ползучести конструкционных материалов?
28. Что такое химическое распыление? Когда оно наблюдается?
29. От каких факторов зависит радиационная ползучесть материалов?
30. Как зависит радиационное упрочнение металлов и сплавов от условий облучения?

4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СПб ГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКДВ Порядок проведения зачетов и экзаменов.

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена или зачёта.

Шкала оценивания на экзамене балльная («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»), на зачёте – «зачёт», «незачёт». При этом «зачёт» соотносится с пороговым уровнем сформированности компетенции.

Приложение 2.

Материалы, используемые при самоконтроле знаний студентов

Индивидуальное задание №1

Определить количество свободных вакансий, накапливающихся за время t в материале X под действием (вид излучения) с энергией E , при плотности потока f , порговой энергии смещения E_d и температуре T .

Индивидуальное задание №2

Определить количество междоузельных атомов, накапливающихся за время t в материале X под действием (вид излучения) с энергией E , при плотности потока f , порговой энергии смещения E_d и температуре T .

№ вариант-та	Материал	Время	Вид излучения	энергия частицы	Плотность потока (тока)	E_d , эВ	T образца, °С
1	Алюминий	10 дней	нейтрон	14 МэВ	$1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$	25	100
2	Железо	1 год	^{239}Pu , внутреннее облучение.	-	-	30	50
3	Алюминий	1 год	бета, ^{90}Sr - ^{90}Y , диаметр 1 см, $A=1$ Ки	-	-	30	27
4	Кадмий	1 месяц	тепловые нейтроны	-	$10^{13} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$	40	200
5	Железо	2 часа	гамма, ^{60}Co , $D_{\text{полг}}=10^3 \text{ Гр}$	-	-	30	27
6	Цирконий	1 год	нейтрон	2 МэВ	$1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$	50	200
7	Медная матрица, 20% металлического урана	2 года	после 3% выгорания, ЯЭУ				300
8	Цирконий	10 мин	$^{40}\text{Ar}^+$	30 кэВ	10^{-3} А/см^2	40	100
9	Алюминий	1 час	электрон	1 МэВ	10^{-6} А/см^2	30	30
10	Молибден	1 час	протоны	1 МэВ	$0,1 \text{ мкА/см}^2$	40	150
11	Никель	1 час	альфа -ч.	4 МэВ	$1 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$	30	100
12	Медь	10 лет	бета, ^{90}Sr - ^{90}Y , внутреннее обл., $A=10^{-2}$ Ки/кг			30	30

№ вариант-та	Материал	Время	Вид излучения	энергия частицы	Плотность потока (тока)	Ed, эВ	Т образца, °С
13	Графит	2 часа	нейтрон	14 МэВ	$1 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$	25	27
14	Графит	1 год	нейтрон	2 МэВ	$10^{13} \text{ н./см}^{-2} \text{ с}^{-1}$	50	200
15	Железо, 3% кадмия	1 месяц	тепловые нейтроны		$10^{13} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$	40	200
16	Вольфрам	10 час	электрон	3 МэВ	10^{-3} А/см^2	50	100
17	Свинец	10 лет	^{239}Pu , внутреннее обл., 10^{-3} Ки/кг	-	-	40	50
18	Алюминий	10 лет	бета, ^{90}Sr - ^{90}Y , внутреннее обл., $A=10^{-1}$ Ки	-	-	25	50
19	Алюминий	1 год	бета, ^{32}P , диаметр 1,5 см, $A=2$ Ки	-	-	30	40
20	Цирконий	5 час.	альфа -ч.	2 МэВ	$0,1 \text{ мкА/см}^2$	50	100
21	Ниобий	2 часа	протоны	5 МэВ	10 нА/см^2	45	27