

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИФВТ

 Яковлев А.Н.
« 19 »  2016 г.

БАЗОВАЯ РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Радиационные эффекты в твердых телах

Направление (специальность) ООП: 14.04.04 «Электроника и микроэлектроника»

Профиль подготовки: «Физическая электроника»

Квалификация: магистр

Базовый учебный план приема 2016 г.

Курс 1, семестр 2

Количество кредитов 3

Код дисциплины: М1.ВМ3.4

Виды учебной деятельности	ОФ
Лекции, ч	16
Практические занятия, ч	16
Лабораторные занятия, ч	16
Аудиторные занятия, ч	48
Самостоятельная работа, ч	60
ИТОГО, ч	108

Вид промежуточной аттестации: экзамен во 2 семестре

Обеспечивающее подразделение: кафедра высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники

Заведующий кафедрой  д.ф.-м.н., профессор Ратахин Н. А.

Руководитель ООП  д.т.н., профессор Солдатов А.И.

Преподаватель  д.ф.-м.н., профессор Яковлев В.Ю.

2016 г.

1. Цели освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины магистрант приобретает знания, умения и навыки, обеспечивающие достижение целей освоения дисциплины ЦД.1, ЦД.2, ЦД5 по профилю подготовки «Физическая электроника» в области обучения, воспитания и развития, соответствующих целям Ц1, Ц2, Ц5 ООП.

ЦД.1. Подготовка выпускников к научно-исследовательской деятельности, включая междисциплинарные области, связанной с выбором, оптимизацией, разработкой и исследованием современной высокоэффективной электронной техники

ЦД.2. Подготовка выпускников к проектно- конструкторской и производственно-технологической деятельности, направленной на теоретическое и экспериментальное исследование, математическое и компьютерное моделирование, проектирование, конструирование, технологию производства, использование и эксплуатацию материалов, компонентов, электронных приборов, устройств, установок вакуумной, плазменной, твердотельной, микроволновой, оптической, микро- и наноэлектроники различного функционального назначения

ЦД.5. Подготовка выпускников к дальнейшему обучению в аспирантуре, а также к самообучению и освоению новых профессиональных знаний и умений, непрерывному профессиональному самосовершенствованию

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Радиационные эффекты в твердых телах» относится к вариативной части междисциплинарного профессионального модуля дисциплин (в учебном плане М1.ВМ3.4).

- Дисциплина построена по модульному принципу. Каждый модуль является автономной частью дисциплины и содержит элементы теоретического, практического и самостоятельного обучения. Трудоемкость освоения каждого модуля оценивается в кредитах, который состоит из работы, включающей освоение лекционного материала, практическую и самостоятельную деятельности. Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 кредита. Дисциплина состоит из 4 разделов. Она опирается на полученные знания и умения при изучении дисциплин естественнонаучного и математического цикла: «Физика», «Спец главы физики», «Электроника и микропроцессорная техника» и др.

Дисциплине «Радиационные эффекты в твердых телах» предшествует освоение дисциплин (пререквизиты):

- Физика
- Спецглавы математики. Численные методы анализа
- Физика конденсированного состояния

Содержание разделов дисциплины «Радиационные эффекты в твердых телах» согласовано с содержанием дисциплин, изучаемых параллельно (коррективы):

- Философские и методологические проблемы науки и техники
- Физика газового разряда
- Физика плазмы
- Научно-исследовательская работа в семестре

3. Результаты освоения дисциплины

В соответствии с требованиями ООП и в соответствии с ФГОС, освоение дисциплины направлено на формирование у студентов следующих компетенций (результатов обучения):

Таблица 1

Составляющие результатов обучения, которые будут получены при изучении данной дисциплины

3.1.2	Знать основные законы естественнонаучных и профессиональных дисциплин в области физических основ электронной техники и схемотехники, электрофизических технологии	У.1.2	Определять, систематизировать и получать необходимые данные в сфере профессиональной деятельности с использованием современных информационных средств и методов	В.1.2	Навыками работы в научном коллективе
3.2.1	Знать современное состояние, теоретические и экспериментальные работы в профильной области, явления и методы исследований	У.2.1	Анализировать и обобщать научно-техническую информацию в профессиональной деятельности	В.2.1	Навыками самостоятельной научно-исследовательской деятельности, требующей широкого образования в соответствующем направлении.
3.3.1	современное состояние, теоретические и экспериментальные работы в профильной области, явления и методы исследований.	У.3.1	выбирать методы и средства решения сформулированных задач на основе анализа научно-технической информации	В.3.1	опытом научно-исследовательской и проектной деятельности в области электронной техники

В результате освоения дисциплины «Радиационные эффекты в твердых телах» студентом должны быть достигнуты следующие результаты:

Таблица 2

Планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

№ п/п	Результат
РД.1	Использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры; понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения; демонстрировать навыки работы в научном коллективе, порождать новые идеи
РД.2	Анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников; определять цели, осуществлять постановку задач проектирования приборов нанозлек-

	троники, схем и устройств различного функционального назначения с использованием современной элементной базы нанoeлектроники, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ
РД.3	Формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач

4. Структура и содержание дисциплины

Раздел 1. Кристаллическая структура и форма твердых тел.

Тема 1. Типы межатомных связей. Геометрия совершенных кристаллов.

Тема 2. Динамика кристаллической решетки.

Тема 3. Энергетические зоны в кристаллах.

Лекции:

Лекция 1. Структуры реальных кристаллов.

Лекция 2. Зонное строение металлов, полупроводников и диэлектриков.

Практические занятия:

1. Операции симметрии. Основные типы кристаллических решеток.

Положение и ориентация плоскостей в кристаллах. Индексы Миллера.

2. Классификация твердых тел по типам связи. Ван-дер-Ваальсово взаимодействие. Ковалентная связь. Ионная связь. Водородная связь. Металлическая связь.

3. Упругие волны в кристаллах. Колебания одно- и двухатомной линейной цепочки. Фононы. Теплопроводность кристаллов.

4. Образование энергетических зон в полупроводниках и диэлектриках. Локальные уровни точечных дефектов в зонной схеме.

Раздел 2. Воздействие плотных импульсных электронных пучков на материалы.

Тема 1. Элементарные неупругие радиационные процессы.

Тема 2. Электронные возбуждения в ионных кристаллах. Свободные и локализованные экситоны. Автолокализация дырок и экситонов в ШГК.

Тема 3. Тепловой нагрев и электризация диэлектрических кристаллов при импульсном электронном облучении.

Лекции:

Лекция 1. Действие радиации на электронную и ионную подсистемы твердых тел.

Лекция 2. Радиационно-индуцированная проводимость. Электроразрядный механизм хрупкого разрушения твердых тел.

Практические занятия:

1. Электронные возбуждения в ионных кристаллах. Свободные и локализованные экситоны. Автолокализация дырок и экситонов в ШГК

Лабораторные занятия:

1. Определение энергетического порога хрупкого разрушения кристаллов плотным импульсным электронным пучком.

Раздел 3. Радиолюминесценция полупроводниковых и диэлектрических материалов.

Тема 1. Основы теории люминесценции.

Тема 2. Люминесценция кристаллофосфоров под действием мощных импульсных потоков корпускулярного излучения.

Тема 3. Техника измерения параметров люминесценции.

Лекции:

Лекция 1. Като�олюминесценция. Основные понятия. Генерационный, миграционный и внутрицентральной этапы радиолюминесценции.

Лекция 2. Методы и проблемы экспериментального определения механизмов возбуждения радиолюминесценции.

Практические занятия:

1. Характеристики люминесценции. Разложение сложных спектров на элементарные составляющие. Метод Аленцева-Фока.
2. Кинетика люминесценции. Зависимости выхода и времени затухания люминесценции от температуры и плотности возбуждения.

Лабораторные занятия:

1. Исследование люминесценции дискретных центров.
2. Исследование кинетики затухания люминесценции кристаллофосфоров.

Раздел 4. Точечные радиационные дефекты в кристаллах и стеклах.

Тема 1. Оптические свойства точечных дефектов в диэлектрических материалах. Пространственная и энергетическая структура простейших и сложных собственных центров окраски в ионных кристаллах.

Тема 2. Закономерности создания и эволюции короткоживущих радиационных дефектов в ионных кристаллах.

Лекции:

Лекция 1. Пространственная и энергетическая структура простейших и сложных собственных центров окраски в ионных кристаллах.

Лекция 2. Механизмы радиационного дефектообразования в ионных кристаллах. Преобразование первичных короткоживущих в устойчивые дефекты.

Практические занятия:

1. Техника оптико-абсорбционной спектроскопии с временным разрешением. Закономерности создания и эволюции короткоживущих радиационных дефектов в ионных кристаллах. Особенности радиационного дефектообразования в кристаллах двойных оксидов, полупроводников.

Лабораторные занятия:

1. Исследование спектров короткоживущего оптического поглощения в ИГК при облучении импульсным электронным пучком.
2. Исследование кинетики рекомбинации пар первичных дефектов Френкеля в ИГК.

5. Образовательные технологии

При изучении дисциплины «Радиационные эффекты в твердых телах» следующие образовательные технологии:

Таблица 3

Методы и формы организации обучения

Методы	Лекц.	Лаб. раб.	Пр. зан./ сем.,	Тр.*, Мк**	СРС	К. пр.***
ИТ-методы	+				+	
Работа в команде			+			
Case-study						
Игра						
Методы проблемного обучения						
Обучение на основе опыта			+			
Опережающая самостоятельная работа					+	
Проектный метод			+		+	
Поисковый метод					+	
Исследовательский метод		+			+	
Другие методы						

Достижение результатов обучения осуществляется следующими мероприятиями. Основное содержание дисциплины излагается на обзорных лекциях. Усвоение материала в соответствии с программой производится студентом самостоятельно путем изучения материала по методическим пособиям, рекомендованной литературе, в том числе с использованием интернет ресурсов. Закрепление изученного материала, его детализация обеспечиваются на практических занятиях. Текущий контроль усвоения материала осуществляется путем проведения двух контрольных работ.

6. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

6.1. Виды и формы самостоятельной работы

Самостоятельная работа студентов включает текущую и творческую проблемно-ориентированную самостоятельную работу (ТСР).

Текущая СРС направлена на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений и включает:

- работа с лекционным материалом,

- изучение по литературным источникам, в том числе с использованием интернет ресурсов материалов, отраженных в содержании разделов дисциплины,
- выполнение домашних заданий, а также изучение тем, не входящих в состав дисциплины, но рекомендуемых для расширения кругозора,
- подготовка к практическим, семинарским занятиям
- подготовка к контрольной работе, к зачету, экзамену

6.2. Содержание самостоятельной работы по дисциплине

Темы, выносимые на самостоятельную проработку:

- Темы 1 - 3 раздела 1 содержания дисциплины, углубленное изучение
- Темы 1 - 3 раздела 2 содержания дисциплины, углубленное изучение
- Темы 1- 4 раздела 3 содержания дисциплины, углубленное изучение
- Темы 1- 2 раздела 4 содержания дисциплины, углубленное изучение

6.3. Контроль самостоятельной работы

Оценка результатов самостоятельной работы организуется следующим образом:

- проверка отчетов по лабораторным работам,
- проверка индивидуального задания,
- оценка за активную работу и опрос на практических занятиях

При выполнении самостоятельной работы рекомендуется использовать:

- материалы, размещенные на персональном сайте преподавателя:

<http://portal.tpu.ru/SHARED/s/...>

7. Средства текущей и промежуточной оценки качества освоения дисциплины

Оценка качества освоения дисциплины производится по результатам следующих контролирующих мероприятий:

Контролирующие мероприятия	Результаты обучения по дисциплине
Индивидуальное задание	РД.1 – РД.3
Лабораторные работы	РД.1 – РД.3
Экзамен	РД.1 – РД.3

Для оценки качества освоения дисциплины при проведении контролирующих мероприятий предусмотрены следующие средства (фонд оценочных средств) (*с примерами*):

Примеры вопросов для проверки текущей успеваемости:

1. Оцените ширину возбужденного энергетического уровня электрона в атоме, если время нахождения атома в возбужденном состоянии $\tau \approx 10^{-8}$ с?

2. Сколько атомов содержится в каждой элементарной ячейке кристалла, если она является: а) простой; б) объемно центрированной; в) грани-центрированной кубической ячейкой?
3. Как изменяется положение уровня Ферми с ростом температуры? Что такое температура вырождения?
4. Вычислить объем элементарной ячейки в кристалле гексагональной системы с постоянными a и c .
5. Отв.: $\frac{\sqrt{3}}{2} a^2 c$.
6. Показать, что для идеальной гексагональной структуры с плотной упаковкой $c/a = 1,633$.
7. Какие плоскости в структуре гранецентрированного куба и объемно-центрированного куба имеют наибольшую плотность упаковки атомов? В каких направлениях в этих плоскостях линейная плотность расположения атомов максимальна?
8. Что понимается под дыркой в модельных представлениях об электропроводности кристалла?
9. Как и во сколько раз изменится вероятность заполнения электроном энергетического уровня в металле, если он расположен на 0,1 эВ выше уровня Ферми и температура изменяется от 1000 до 300 К?
10. Отв.: уменьшится в 11,4 раза.
11. Как образуются зоны разрешенных энергий электронов в кристаллах?
12. В чем смысл адиабатического и одноэлектронного приближений при решении уравнения Шредингера для электрона в кристалле? Вид волновой функции и энергии в рамках этих приближений.
13. Чем отличаются зонные схемы для полупроводников, диэлектриков и металлов?
14. Перечислите различные типы локальных уровней энергии электронов в запрещенной зоне.
15. Как влияет температура на концентрацию свободных электронов в примесном полупроводнике?

Итоговый контроль (примеры вопросов на экзамене):

Экзаменационный билет № 2

1. Типы межатомных связей. Ионная связь; водородная связь.
2. Динамика кристаллической решетки; колебания двухатомной линейной цепочки, оптическая и акустическая ветви закона дисперсии.
3. Дефекты Френкеля, Шоттки. Энергия образования, механизмы миграции междоузельных атомов и вакансий.

Экзаменационный билет № 6

1. Понятие кристаллической структуры. Операции симметрии.
2. Решеточная теплоемкость; модель Дебая.
3. Оптические свойства дефектов. Поглощение света анионными вакансиями, F центрами.

Экзаменационный билет № 7

1. Двумерные кристаллические решетки Бравэ.
2. Корпускулярно-волновой дуализм микрочастиц; понятие фоновой и групповой скоростей.
3. Оптические переходы с поглощением фотонов в модели конфигурационных кривых. Принцип Франка-Кондона, зависимость характеристик полос поглощения от температуры.

8. Рейтинг качества освоения дисциплины

Оценка качества освоения дисциплины в ходе текущей и промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в соответствии с «Руководящими материалами по текущему контролю успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации студентов Томского политехнического университета», утвержденными приказом ректора № 77/од от 29.11.2011 г.

В соответствии с «Календарным планом изучения дисциплины»:

- текущая аттестация (оценка качества усвоения теоретического материала (ответы на вопросы и др.) и результаты практической деятельности (решение задач, выполнение заданий, решение проблем и др.) производится в течение семестра (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), к моменту завершения семестра студент должен набрать не менее 33 баллов);
- промежуточная аттестация (экзамен, зачет) производится в конце семестра (оценивается в баллах (максимально 40 баллов), на экзамене (зачете) студент должен набрать не менее 22 баллов).

Итоговый рейтинг по дисциплине определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.

9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература:

1. Лисицын, Виктор Михайлович Радиационная физика твердого тела [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. М. Лисицын; Томский политехнический университет (ТПУ). — 1 компьютерный файл (pdf; 4.6 MB). — Томск: Изд-во ТПУ, 2008. — Заглавие с титульного экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Доступ из корпоративной сети ТПУ. — Системные требования: Adobe Reader..
Схема доступа:<http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2010/m201.pdf>
2. Мамонтов, Аркадий Павлович Радиационные эффекты в конденсированных средах : учебное пособие / А. П. Мамонтов; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во ТПУ, 2002. — 126 с.: ил.. — Библиогр.: с. 124.
3. Таперо, К. И. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах космического применения: / Таперо К.И., Улимов В.Н., Членов А.М.. — Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2011. — ISBN 978-5-9963-0903-0.

Схема доступа:

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=3146

Дополнительная литература:

1. Першенков, Вячеслав Сергеевич Поверхностные радиационные эффекты в элементах интегральных микросхем / В. С. Першенков, В. Д. Попов, А. В. Шальнов. — Москва: Энергоатомиздат, 1988. — 255 с.: ил.. — Библиогр.: с. 239-251 (233 назв.). — Алф.-предм. указ.: с. 252-253.. — ISBN 5-283-02942-5.
2. Агаханян, Татевос Мамиконович Радиационные эффекты в интегральных микросхемах / Т. М. Агаханян, Е. Р. Аствацатурьян, П. К. Скоробогатов. — Москва: Энергоатомиздат, 1989. — 253 с.: ил.. — Библиогр.: с. 242-251.. — ISBN 5-283-02963-8.
3. Устюжанинов, Валерий Николаевич Радиационные эффекты в биполярных интегральных микросхемах / В. Н. Устюжанинов, А. З. Чепиженко. — Москва: Радио и связь, 1989. — 144 с.: ил.. — Массовая библиотека инженера "Электроника". — Библиогр.: с. 141-143 (65 назв.). — ISBN 5-256-00254-6.
4. Гуревич А.Г. Физика твердого тела./ФТИ им. А.Ф.Иоффе ПАН. – СПб.: Невский Диалект; БХВ-Петербург, 2004. -320 с.:ил.
5. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела, Москва «Наука», 1989
6. Пичугин В.Ф. Теория и свойства кристаллов и неупорядоченных материалов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 273 с.
7. Блейкмор Дж. Физика твердого тела, Москва, «Мир», 1988
8. Левшин Л.В., Салецкий А.М. Люминесценция и ее измерения: Молекулярная люминесценция. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 272 с. – ISBN 5-211-00373-X.
9. Киреев П.С. Физика полупроводников. Учебн. пособие для втузов. М., «Высшая школа», 1975
- 10.Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела, М.: Мир. 1969
- 11.Орешкин П.Т. Физика полупроводников и диэлектриков, М.: «Высшая школа», 1975
- 12.Левич В.Г. Курс теоретической физики, Том 1, Москва «Наука», 1969
- 13.Мотт Н., Герни Р. Электронные процессы в ионных кристаллах. М.: ИЛ. 1950
- 14.Медведев С.А. Введение в технологию полупроводниковых материалов, М., «Высшая школа», 1970
- 15.Горбачев, Спицына Л.Г., Физика полупроводников и металлов, М.: Металлургия, 1976
- 16.Жирифалько Л., Статистическая физика твердого тела, М.: Мир. 1975
- 17.Верецагин И.К., Кокин С.М., Никитенко В.А., Селезнев В.А., Серов Е.А. Физика твердого тела, Уч. пособ. Для втузов, М.: Высш.шк., 2001-237с.
- 18.Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. М.: Мир. т.т.1,2.1982

19. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г., Физика полупроводников М.: Наука, 1977
20. Спроул Р. Современная физика. Квантовая физика атомов, твердого тела и ядер. - М.: Наука, 1974.
21. Шалимова К.В. Физика полупроводников. - М.: Энергия, 1971.
22. Болтакс Б.И. Диффузия и точечные дефекты в полупроводниках. -Л.: Наука, 1972.
23. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. - М.: Энергоиздат, 1982.
24. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. -М.: Высш. школа, 1986.
25. Гурвич А.М. Введение в физическую химию кристаллофосфоров. - М.: Высш.шк, 1982.
26. Воробьев А.А. Центры окраски в щелочногалоидных кристаллах. Томск. Изд. ТГУ. 1968. 390 стр.
27. Стоунхэм А.М. Теория дефектов в твердых телах (в двух томах). М. Мир. 1978.
28. Лущик Ч.Б., Лущик А.Ч. Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах. М. Наука. 1989. 262стр.

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

№ п/п	Наименование (компьютерные классы, учебные лаборатории, оборудование)	Корпус, ауд., количество установок
1	Учебная аудитория	Корпус ИСЭ СО РАН, ауд. 325
2	Проектор	1 шт.

Программа составлена на основе СУОС ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС по направлению 14.04.04 «Электроника и наноэлектроника» и профилю подготовки «Физическая электроника».

Программа одобрена на заседании кафедры высоковольтной электрофизики и сильноточной электроники ИФВТ (протокол № 9 от 16.02.2016 г.).

Автор  В.Ю. Яковлев

Рецензент  В.Ф. Штанько