

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

Базовая кафедра нанотехнологий в электронике
ФГБОУ ВО "ЯрГУ им. П.Г. Демидова" в ЯФ ФТИАН РАН

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

(подпись) И.С. Огнев

23 мая 2023 года

Рабочая программа дисциплины

Избранные главы физики полупроводников I

программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

по научной специальности 1.3.11 Физика полупроводников

Форма обучения очная

Программа одобрена на заседании
Базовой кафедры нанотехнологий в электронике
ФГБОУ ВО "ЯрГУ им. П.Г. Демидова" в ЯФ ФТИАН РАН
от «30» марта 2023 года, протокол № 8

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Избранные главы физики полупроводников – I» являются:

- усвоение аспирантами знаний о физике кинетических явлений в полупроводниках, об использовании явлений переноса в полупроводниковых приборах нового поколения;
- изучение модельных представлений и основных теоретических принципов, описывающих кинетические свойства полупроводниковых кристаллов и пленок полупроводниковых материалов;
- формирование у аспирантов навыков экспериментального изучения явлений переноса в полупроводниковых системах.

2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

«Избранные главы физики полупроводников – I» является дисциплиной по выбору. Данная дисциплина рассматривает основные кинетические явления, происходящие в полупроводниках, имеет логические и содержательно-методические взаимосвязи с другими частями ООП, а именно с обязательной дисциплиной «Физика полупроводников», курсами по выбору (Избранные главы физики полупроводников – II) и педагогической практикой.

Для изучения данной дисциплины необходимы «входные» знания, умения, полученные в процессе обучения по программам специалитета или бакалавриата – магистратуры.

3. Планируемые результаты освоения дисциплины: -

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- основные понятия и закономерности физической кинетики полупроводников и низкоразмерных структур;
- методы расчета и моделирования параметров полупроводниковых материалов и наноструктур и методы их диагностики.

Уметь:

- оперировать физическими и технологическими терминами и величинами;
- обосновывать и использовать физические законы, выбирать методы анализа полупроводниковых структур и интерпретировать их результаты;
- применять современные компьютерные средства и теоретические знания в области физики полупроводников для анализа и интерпретации полученных данных.

Владеть:

- практическими навыками самостоятельной работы с полупроводниковыми приборными структурами;
- методами расчета и оптимизации параметров современных полупроводниковых устройств;
- информацией об областях применения и проблемах исследования полупроводниковых структур.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3, зачетных единицы, 108 акад. часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий и их трудоемкость (в академических часах)					Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации
			лекции	практические	лабораторные	консультации	самостоятельная работа	
1	Кинетическое уравнение Больцмана. Процессы проводимости	2	3	2			30	Реферат
2	Влияние магнитных, электрических и температурных полей на квантовые явления	2	3	2		1	30	Реферат
3	Общий анализ кинетических явлений	2	2	2		1	32	Реферат
								Зачет
	Всего за 2 семестр	108	8	6		2	92	

Содержание разделов дисциплины:

1. Кинетическое уравнение Больцмана. Процессы проводимости

Предмет цели и задачи курса. Основная терминология. Кинетическое уравнение Больцмана. Время релаксации. Плотность электрического тока и плотность потока энергии. Кинетические коэффициенты. Электропроводность полупроводников. Гальваномагнитные эффекты.

2. Влияние магнитных, электрических и температурных полей на квантовые явления

Эффект Холла в области примесной проводимости. Эффект Холла в материале с несколькими типами носителей заряда. Зависимость коэффициента Холла от величины магнитного поля. Применение эффекта Холла. Магниторезистивный эффект. Зависимость эффекта от параметров полупроводника. Применение магниторезистивного эффекта для определения подвижности носителей заряда в структурах с различной геометрией. Теплопроводность полупроводников. Термоэлектрические явления. Термомагнитные явления. Приборы на основе этих явлений.

3. Общий анализ кинетических явлений

Общий анализ кинетических явлений. О кинетических явлениях в полупроводниках с тензорной эффективной массой. Тензорезистивный эффект. Тензочувствительность. Коэффициенты пьезосопротивления. Методика измерения тензорезистивного эффекта на кристаллах и пленках.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой литературы.

Академическая лекция с элементами лекции-беседы – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Элементы лекции-беседы обеспечивают контакт преподавателя с аудиторией, что позволяет привлекать внимание аспирантов к наиболее важным темам дисциплины, активно вовлекать их в учебный процесс, контролировать темп изложения учебного материала в зависимости от уровня его восприятия.

Проблемная лекция – изложение материала, предполагающее постановку проблемных и дискуссионных вопросов, освещение различных научных подходов, связанные с различными моделями интерпретации изучаемого материала. Проблемная лекция начинается с вопросов, с постановки проблемы, которую в ходе изложения материала необходимо решить. В лекции сочетаются проблемные и информационные начала. При этом процесс познания аспирантом в сотрудничестве и диалоге с преподавателем приближается к поисковой, исследовательской деятельности.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по закреплению полученных на лекции знаний.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы аспирантов. На консультациях по просьбе аспирантов рассматриваются наиболее сложные разделы дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы аспирантов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

Электронный учебный курс «Теоретическая физика» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы аспирантов по темам дисциплины;
- представлен список литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в случае их проведения в дистанционном формате в режиме онлайн.

6. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Зегря, Г.Г. Основы физики полупроводников./ Г.Г. Зегря, В.И. Перель. М.: Физматлит, 2009. 336 с.
2. Киреев П. С. Физика полупроводников: учеб. пособие для вузов. / П. С. Киреев; М-во высш. и сред. спец. образования СССР - 2-е изд., доп. - М.: Высшая школа, 1975. - 584 с.
3. Физика твердого тела: учеб. пособие / под ред. А.С. Рудого, А.В. Проказникова; Яросл. гос. ун-т. – Ярославль: 2009. – 270 с.

б) дополнительная литература

1. Ансельм, А.И. Введение в теорию полупроводников. / А.И. Ансельм - М.: ГРФМЛ. Наука. – 1978. - 615 с.
2. Бонч-Бруевич, В.Л. Физика полупроводников. // В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников - М.: ГРФМЛ, Наука. – 1977. - 672 с.
3. Викулин, И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов./ И.М. Викулин, В.И. Стафеев -М.: Радио и связь, 1990.
4. Давыдов, А.С. Теория твердого тела. / А.С. Давыдов М.: ГРФМЛ. Наука. – 1976. - 639 с.
5. Павлов, П.В. Физика твердого тела. / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов - М.: Высшая школа. – 2000. - 494 с.

в) ресурсы сети «Интернет» (при необходимости)

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»
http://www.lib.uniya.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

7. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав следующие помещения:

- учебные аудитории для проведения лекций;
- учебные аудитории для проведения практических занятий;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы.

Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ЯрГУ.

Автор(ы) :

Заведующий Базовой кафедрой нанотехнологий в электронике
ФГБОУ ВО "ЯрГУ им. П.Г. Демидова" в ЯФ ФТИАН РАН
Профессор, доктор физико-математических наук

А.С. Рудый

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Избранные главы физики полупроводников – I»**

**Оценочные материалы
для проведения текущей и/или промежуточной аттестации
аспирантов по дисциплине**

1. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Список вопросов к зачету:

1. Кинетическое уравнение Больцмана.
2. Время релаксации.
3. Плотность электрического тока и плотность потока энергии.
4. Кинетические коэффициенты.
5. Электропроводность полупроводников.
6. Гальваномагнитные эффекты.
7. Эффект Холла в области примесной проводимости.
8. Эффект Холла в материале с несколькими типами носителей заряда.
9. Зависимость коэффициента Холла от величины магнитного поля.
10. Применение эффекта Холла.
11. Магниторезистивный эффект. Зависимость эффекта от параметров полупроводника.
12. Применение магниторезистивного эффекта для определения подвижности носителей заряда в структурах с различной геометрией.
13. Теплопроводность полупроводников.
14. Термоэлектрические явления.
15. Термомагнитные явления.
16. Общий анализ кинетических явлений.
17. О кинетических явлениях в полупроводниках с тензорной эффективной массой.
18. Тензорезистивный эффект.
19. Тензочувствительность.
20. Коэффициенты пьезосопротивления.
21. Методика измерения тензорезистивного эффекта на кристаллах и пленках.

**1.2 Контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущей аттестации**

Темы рефератов

1. Кинетическое уравнение Больцмана. Условия применения.
2. Электропроводность полупроводников.
3. Эффект Холла в областях примесной, смешанной и собственной проводимости.
4. Применение эффекта Холла.
5. Физика магниторезистивного эффекта. Магниторезисторы.
6. Эффект Нернста-Эттингсгаузена.
7. Эффект Пельтье и устройства на его основе.
8. Методика измерения тензорезистивного эффекта на кристаллах и пленках.

Контрольная работа:

- 1.** Дайте общую характеристику кинетических явлений в полупроводниках.
- 2.** Дайте характеристику базовым методикам измерения концентрации и подвижности носителей заряда в полупроводниках на основе эффекта Холла.

2.1 Описание процедуры выставления оценки

По итогам аттестационных мероприятий выставляется зачет/незачет.

Для успешного освоения дисциплины очень важна самостоятельная работа аспирантов над конспектами прослушанных лекций и разделами курса для самостоятельного изучения. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз прорабатывать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, из учебной литературы при самостоятельной проработке разделов курса.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных практических навыков работы и проведения расчетов, в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде рефератов и контрольных работ. Также проводятся консультации (при необходимости) по разбору заданий для самостоятельной работы, которые вызвали затруднения.

Зачет принимается в виде устного опроса с обсуждением 1 вопроса из списка вопросов к зачету, а также углубленное обсуждение 1 из подготовленных рефератов экзаменуемого. На самостоятельную подготовку к зачету выделяется не менее 3 дней, во время подготовки к зачету предусмотрена групповая консультация.