

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и
радиоэлектроники»

Проректор по научной работе БГУИР
В. В. Семидицкий
«37» 2023 г.



ПРОГРАММА

вступительного экзамена в аспирантуру по специальности
01.04.07 - Физика конденсированного состояния

Минск 2023

Программа составлена на основании типовых учебных планов первой ступени образования по специальностям 1 - 41 01 02 "Микро- и нанoeлектронные технологии и системы", 1 - 41 01 03 "Квантовые информационные системы", 1 - 41 01 04 «Нанотехнологии и наноматериалы в электронике» и второй ступени высшего образования по специальностям 1 - 41 80 01 «Микро- и нанoeлектроника» и 1 - 41 80 03 «Нанотехнологии и наноматериалы».


СОСТАВИТЕЛИ:

Борисенко В. Е. – д.ф.-м.н, профессор, профессор кафедры микро- и нанoeлектроники БГУИР

Мигас Д. Б. – д.ф.-м.н, доцент, зав. кафедрой микро- и нанoeлектроники БГУИР

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ

Рассмотрена и рекомендована к утверждению на заседании кафедры микро- и нанoeлектроники (протокол № 11 от 13 марта 2023 г.)

Заведующий кафедрой МНЭ  Д.Б.Мигас

Одобрена и рекомендована к утверждению методической комиссией факультета радиотехники и электроники (протокол № 7 от 16 марта 2023 г.)

Председатель  О. В. Славинская

1. Цели и задачи программы

Целью программы является установление объема и уровня профессиональных знаний поступающего в аспирантуру на специальность “Физика конденсированного состояния”.

Задачи, обеспечивающие достижение этой цели, включают знания следующих основных разделов, включенных в программу:

- Строение кристаллов
- Дефекты в кристаллах
- Твердые растворы и химические соединения
- Диффузия в твердых телах
- Тепловые свойства твёрдых тел
- Электроны в твёрдых телах
- Кинетические явления в твердых телах
- Магнитные свойства твердых тел.

2. Требования к знаниям, умениям и навыкам экзаменуемого

Экзаменуемый должен знать:

- основные типы химической связи в материалах;
- строение кристаллов и типы кристаллических решеток основные типы химической связи в материалах;
- основы фазовых превращений и диаграммы состояния материалов;
- основные способы модификации состава, структуры и свойств материалов;
- основные типы магнитного упорядочения, а также свойства и характеристики, присущие магнитным материалам;
- основные методы измерения параметров материалов;

должен уметь:

- определять тип симметрии кристаллов, параметры решетки и атомные позиции;
- рассчитывать коэффициенты диффузии атомов в материалах и на поверхности материалов;
- оценивать концентрацию основных и неосновных носителей заряда в легированных полупроводниках, а также температуру истощения примеси.

3. Содержание программы

Раздел 1. Строение кристаллов

Тема 1.1. Пространственная решетка. Выбор элементарной ячейки. Симметрия кристаллов. Точечные и пространственные группы симметрии. Обратная решетка. Типичные кристаллические структуры.

Тема 1.2. Классификация кристаллов по типам их связи: ионные, ковалентные, металлические, молекулярные, водородные. Сопоставление различных типов связей.

Тема 1.3. Методы определения структуры кристаллов: рентгеноструктурный анализ, электронография, электронная микроскопия, нейтронография.

Раздел 2. Дефекты в кристаллах

Тема 2.1. Классификация дефектов кристаллической решетки.

Тема 2.2. Точечные дефекты. Образование и взаимодействие точечных дефектов. Отжиг точечных дефектов.

Тема 2.3. Краевые и винтовые дислокации. Размножение и движение дислокаций. Взаимодействие дислокаций. Частичные дислокации.

Тема 2.4. Двумерные и трехмерные дефекты.

Раздел 3. Твердые растворы и химические соединения

Тема 3.1. Фазовые диаграммы: эвтектического типа, перитектического типа, с образованием химических соединений, тройных соединений.

Тема 3.2. Фазовые превращения. Правило фаз Гиббса.

Тема 3.3. Твердые растворы.

Тема 3.4. Интерметаллические соединения.

Раздел 4. Диффузия в твердых телах

Тема 4.1. Математическое описание диффузии.

Тема 4.2. Механизмы диффузии.

Тема 4.3. Диффузия в твердых растворах замещения и внедрения.

Тема 4.4. Движущая сила диффузионного переноса.

Тема 4.5. Диффузия в поле напряжений. Электроперенос.

Тема 4.6. Методы определения коэффициентов диффузии.

Раздел 5. Тепловые свойства твёрдых тел

Тема 5.1. Особенности теплового движения в твердых телах. Гармоническое приближение. Теплоёмкость твёрдых тел, закон Дюлонга и Пти.

Тема 5.2. Классическая теория теплоёмкости Эйнштейна. Фононы. Теория Дебая. Расчёт дебаевского спектра.

Тема 5.3. Колебания в кристалле как в дискретной системе. Случай одномерной цепочки атомов. Колебания в кристаллах со сложным базисом. Оптические и акустические фононы. Фононные спектры в твердых тел. Характеристическая температура.

Тема 5.4. Ангармонизм колебаний атомов в кристаллах и природа теплового расширения. Связь коэффициента теплового расширения с температурой плавления.

Раздел 6. Электроны в твёрдых телах

Тема 6.1. Уравнение Шрёдингера. Одноэлектронное приближение. Теорема Блоха. Модель Кронига-Пенни.

Тема 6.2. Зоны Бриллюэна. Квазиимпульс и скорость электрона в кристалле. Заполнение зон электронами: металлы, полупроводники, диэлектрики.

Тема 6.3. Эффективная масса электрона. Тензор эффективной массы.

Тема 6.4. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Построение поверхности Ферми по методу Харрисона.

Тема 6.5. Форма изоэнергетической поверхности вблизи экстремальных точек зоны Бриллюэна.

Тема 6.6. Распределение Ферми-Дирака. Энергия Ферми и поверхность Ферми.

Тема 6.7. Экспериментальные методы определения электронной структуры твердых тел.

Раздел 7. Кинетические явления в твердых телах

Тема 7.1. Кинетическое уравнение Больцмана. Интеграл столкновений. Время релаксации.

Тема 7.2. Расчет кинетических эффектов для стандартной зоны. Плотность электрического тока и потока энергии.

Тема 7.3. Электропроводность твердых тел. Концентрация и подвижность носителей тока в полупроводниках, влияние температуры. Температурная зависимость электросопротивления металлов. Правило Матиссена. Влияние дефектов и примесей на электропроводность металлов и полупроводников. Электропроводность тонких пленок.

Тема 7.4. Соотношения Онзагера для процессов переноса. Термоэлектрические эффекты. Гальваномагнитные и термомагнитные эффекты.

Тема 7.5. Теплопроводность твердых тел. Решеточная и электронная теплопроводность. Теория Дебая и Пайерлса. Фонон-фононное рассеяние. Закон Видемана-Франца.

Тема 7.6. Сверхпроводимость. Высокотемпературная сверхпроводимость.

Раздел 8. Магнитные свойства твердых тел

Тема 8.1. Физическая классификация магнетиков.

Тема 8.2. Диамагнетизм. Теория Ландау. Диамагнетизм сферически несимметричных систем. Диамагнетизм Ландау.

Тема 8.3. Парамагнетизм. Учет пространственного квантования в классической теории парамагнетизма. Законы Кюри и Кюри-Вейса для парамагнетиков. Парамагнетизм электронов проводимости.

Тема 8.4. Ферромагнетизм. Теория Вейса. Зависимость намагниченности от поля. Обменное взаимодействие. Ферромагнитные домены. Стенки Блоха и стенки Нееля. Намагничивание ферромагнетиков во внешнем магнитном поле.

Тема 8.5. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм. Магнитная структура антиферромагнетиков, особенности обменного взаимодействия. Свойства антиферромагнетиков в слабых и сильных магнитных полях. Кристаллическая и магнитная структура ферримагнетиков. Ферриты в сильных магнитных полях.

Литература

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М., Наука, 1978.
2. Шаскольская М.П. Кристаллография. М., Высшая школа, 1976.
3. Блатт Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах. М., Мир, 1971.
4. Кринчик Г.С. Физика магнитных явлений. Изд. МГУ, 1976.
5. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия., М., Металлургия, 1982.
6. Горбачев В.В., Спицына Л.Г. Физика полупроводников и металлов. М., Металлургия, 1976.
7. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М., Высш. школа, 1985.
8. Физика конденсированного состояния / В. А. Гольдаде, Л. С. Пинчук. - Минск : Беларуская навука, 2009. - 657 с.
9. Введение в теорию полупроводников: учебное пособие для высших учебных заведений по физическим и техническим направлениям и специальностям / А. И. Ансельм. - Изд. 3-е, стереотипное. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2008. - 618 с.
10. Физика конденсированного состояния : тезисы докладов X Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов, г. Гродно 24-26 апреля 2002 г. - Гродно : ГрГУ им. Я. Купалы, 2002. - 376 с.
11. Квасов, Н. Т. Физика конденсированного состояния [+ электр. вариант] : учебно-методическое пособие для лекционных, практических и

- лабораторных занятий для студентов всех специальностей и форм обучения БГУИР / Н. Т. Квасов. - Минск : БГУИР, 2003. - 80 с. - (Кафедра физики). - Книги и методические пособия. - ISBN 985-444-498-8.
12. Физика конденсированного состояния : сборник научных статей : в 2 ч. Ч. 2 / Е. А. Ровба [и др.]. - Гродно : ГрГУ, 2012. - 275 с