Министерство образования и науки
Донецкой Народной Республики

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Донецкий национальный университет»

УТВЕРЖДЕНА
Приказом ГОУ ВПО «ДонНУ»
от 21.12.2018 г. № 192/12

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена
по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия»
по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

Донецк – 2018

Программа кандидатского экзамена по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

Разработчики программы:

Доктор физ.-мат. наук, профессор А.Г. Петренко

Доктор физ.-мат. наук, профессор А.Г. Милославский

Рецензенты:

Доктор физ.-мат. наук, профессор В.В. Румянцев

Доктор физ.-мат. наук, профессор В.М. Юрченко

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий, протокол № 2 от 06 сентября 2018г.

Зав. кафедрой В.Н. Варюхин

Программа одобрена на заседании Ученого совета физико-технического факультета, протокол № 1 от 28 сентября 2018г.

Декан физико-технического факультета Н.Г. Малюк

ВВЕДЕНИЕ

Программа кандидатского экзамена по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния» разработана с целью обеспечения подготовки и аттестации научных и научно-педагогических кадров высшей квалификации.

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

1. Конденсированное состояние вещества

Кристаллические и аморфные тела. Строение кристаллов. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка. Решетки Браве. Индексы Миллера. Точечные и пространственные группы. Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Вульфа - Брэгга. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна.

Дефекты в кристаллах. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии. Комбинации атомных дефектов. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Энергия дислокаций. Движение дислокаций. Переползание и скольжение. Механизмы образования дислокаций в кристаллах. Влияние радиационных, механических и термических воздействий на реальную структуру твердых тел.

Типы химической связи в кристаллах. Межатомное взаимодействие и силы связи в твердом теле. Структурные и физические особенности ионных, ковалентных, металлических и молекулярных кристаллов. Плотноупакованные структуры.

Аморфные тела - методы получения и дифракционного исследования структуры. Жидкие кристаллы. Физика тонких пленок. Наноматериалы.

Особенности жидкого состояния. Кластерная модель растворов.

2. Энергетический спектр кристаллов

Описание энергетического состояния кристаллов с помощью газа квазичастиц. Примеры квазичастиц. Фононы, магноны, экситоны, плазмоны и др. Электроны в металле как квазичастицы. Квазиимпульс. Закон дисперсии. Теорема Блоха. Граничные условия. Плотность состояний. Статистика газа квазичастиц. Бозоны и фермионы. Взаимодействие квазичастиц.

Колебание кристаллической решетки - фононы. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Теплоемкость решетки, Дебаевская частота. Фактор Дебая - Валлера в рассеивании рентгеновских лучей. Ангармонизм и тепловое расширение.

Электронные состояния в кристаллах. Одноэлектронная модель. Приближение слабо- и сильносвязанных электронов. Зонная схема и типы твердых тел. Вырожденный электронный газ. Электронная теплоемкость, поверхность Ферми. Тензор

эффективных масс. Электроны и дырки. Циклотронная масса. Положение уровня Ферми в невырожденных полупроводниках.

Явления в контактах. Потенциальные барьеры. Контактная разница потенциалов. Токи, ограниченные пространственным зарядом. Барьер Шотки. Квазидвумерные системы в полупроводниках: гетероструктуры, МДП-структуры (металл – диэлектрик - полупроводник). Размерное квантование электронного спектра.

Электронный спектр и плотность состояний электронов в квантующем магнитном поле. Эффект де Гааза - ван Альфена. Спектр квазидвумерных электронов в поперечном квантующем магнитном поле.

3. Электронные и кинетические свойства твердых тел

Кинетические уравнения. Электро- и теплопроводность. Время релаксации. Механизмы рассеяния электронов. Рассеяние на примесях и дефектах. Электрон-фононное взаимодействие. Нормальные процессы, процессы переброса. Ионная проводимость кристаллов. Суперионная проводимость. Магнитосопротивление и эффект Холла. Квантовый эффект Холла.

Полупроводники. Электронная структура типичных полупроводников. Германий и кремний. Примесные уровни. Доноры и акцепторы, p-n-переходы. Фотопроводимость. Рекомбинация и релаксация неравновесных носителей. Горячие носители. Эффект Гана.

Теплоемкость. Температурная зависимость теплоемкости. Модели Эйнштейна и Дебая. Границы справедливости классической теории.

4. Диэлектрики

Эффективное поле. Электрострикция и пьезоэлектричество. Пироэлектрики и сегнетоэлектрики. Электрический гистерезис. Аномалии физических свойств сегнетоэлектриков в области фазовых переходов.

5. Оптические и магнитные явления твердых тел

Механизмы поглощения фотонов. Поглощение свободными носителями. Решеточное поглощение. Многофононные процессы. Комбинационное рассеяние света в кристаллах. Поглощение связанными носителями. Правила отбора. Межзонные прямые и непрямые переходы. Люминесценция кристаллов. Рекомбинационное излучение в диэлектриках и полупроводниках. Спонтанное и вынужденное излучение. Лазеры. Разные типы ОКГ и принцип их действия.

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика. Ферромагнитные домены**.** Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля). Энергия анизотропии. Магнитострикция.

Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков. Спиновые волны, магноны.

Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).

6. Термодинамика и фазовые переходы

Физическая природа твердых соединений. Образование соединений. Законы Рауля и Генри. Условия неограниченной и ограниченной растворимости. Классификация промежуточных фаз по Курнакову и Агееву. Электронные соединения. Фазы Лавеса. Фаза проникновения.

Равновесие фаз. Движущая сила фазовых переходов. Фазовые равновесия в многокомпонентных системах. Влияние искривления поверхности на фазовое равновесие. Формула Томсона. Правило фаз. Фазовые переходы I и II рода. Диффузионные и бездиффузионные превращения в двухкомпонентных системах. Мартенситные превращения. Виды термической обработки. Метастабильное состояние. Распад пересыщенных твердых растворов.

Диаграммы равновесия. Анализ диаграмм состояния с эвтектическим, перитектическим, монотектическим, синтектическим и метатектическим превращениями, а также диаграмм типа "Сигара". Диаграммы состояния с эвтектоидным, перитектоидным и монотектоидным превращениями.

Кинетика фазовых превращений. Кристаллизация. Гомогенное и гетерогенное образование центров кристаллизации. Работа образования критического зародыша. Форма и скорость образования центров кристаллизации. Зависимость скорости образования и скорости роста центров кристаллизации от переохлаждения. Направленная кристаллизация и концентрационное переохлаждение. Ликвационная микронеоднородность. Концентрационные неоднородности при дендритной кристаллизации. Механизмы и кинетика роста кристаллов. Диффузионная задача роста кристаллов (задача Стефана о промерзаниях, задачах роста пули).

Диффузия в металлах и сплавах. Атомная теория диффузии. Постулаты Онзагера. Диффузия против градиента концентрации.

Переходы металл-диэлектрик в системе электронов. Переход Андерсона. Край подвижности в электронном спектре. Переход Мотта. Флуктуации. Твердые растворы и промежуточные фазы.

7. Сверхпроводимость

Основные свойства сверхпроводников. Эффект Мейснера.

Сверхпроводники I и II рода. Основы микроскопической и термодинамической теорий.

Куперовские пары. Длина когерентности. Энергетическая щель и квазичастицы в сверхпроводнике.

Туннельный эффект. Эффект Джозефсона. Высокотемпературная сверхпроводимость.

8. Экспериментальные методы физики конденсированного состояния

Рентгенография – методы исследований идеальной и реальной структуры.

Электронография и электронная микроскопия.

Исследование магнитных структур и фононных спектров: нейтронография (упругое и неупругое когерентное рассеяние нейтронов), эффект Мёссбауэра, ЭПР, ЯМР.

Электрические и гальваномагнитные измерения как методы изучения электронной структуры кристаллов и состава примесей в полупроводниках.

Оптические методы исследований: металлография, использование лазерных источников света и др.

Методы термического анализа (ДТА, ЦТА).

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Чернов А.А., Гиваргизов Е.И., Багдасаров Х.С. и др. Современная кристаллография. В 4 томах. М.: Наука, 1980.
2. Блейкмор Дж. Физика твердого тела. М.: Мир, 1988.
3. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.; Наука, 1979.
4. Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П. Основы кристаллофизики. М.; Наука,1979.
5. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
6. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971.
7. Ландау Л Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. М.; Наука, 1976.
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред. М.: Наука, 1976.
9. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир, 1969.
10. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. М.: Мир, 1979. т.1, 2.
11. Китель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
12. Роуз-Инс А., Родерик Е. Введение в физику сверхпроводимости. М.: Мир, 1972.
13. Мосс Т., Баррел Г., Эллис Б. Полупроводниковая оптоэлектроника. М.: Мир. 1976.
14. Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. М.: Мир, 1982. т.1, 2.
15. Жидкие металлы. Под ред. Р. Эванса и Д. Гринвуда. М. Мет., 1980.
16. Убеллоде А.Р. Расплавленное состояние вещества. М. Мет., 1982, 375 с.
17. Данилов В.И. Строение и кристаллизация жидкости. Киев: Изд. АН УССР, 1956, 568 с.
18. Чалмерс Б. Теория затвердения. М. Мет., 1968, 288 с.
19. Физика тонких пленок. Т 1-8. Под ред. Г. Хасса и Р.Э. Туна. М. «Мир», 1970-1976 гг.