

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева»

**УТВЕРЖДЕНА**

Решением научно-технического совета  
протокол № 1 от «24» января 2022 г.

Председатель НТС, первый проректор -  
проректор по научно-исследовательской  
работе \_\_\_\_\_ А.Б. Прокофьев

Ученый секретарь НТС \_\_\_\_\_ Л.В. Родионов



**ПРОГРАММА  
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**

по научной специальности  
**1.3.8. Физика конденсированного состояния**

## **Силы связи в твердых телах**

Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с не направленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая. ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO<sub>3</sub>.

Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

## **Симметрия твердых тел**

Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

## **Дефекты в твердых телах**

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

## **Дифракция в кристаллах**

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

## **Колебания решетки**

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

## **Тепловые свойства твердых тел**

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана - Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

## **Электронные свойства твердых тел**

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термо - ЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.

Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

## **Магнитные свойства твердых тел**

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).

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.

### **Оптические и магнитооптические свойства твердых тел**

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса—Кронига.

Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра). Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

### **Сверхпроводимость**

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.

Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

Эффект Джозефсона.

Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

### **Старение сплавов**

Процесс старения металлических сплавов. Зонное старение. Фазовое старение.

Кинетика зонного старения. Феноменологическая теория зонного старения. Экспериментальные методы излучения зонного старения.

Зоны Гинье-Престона, форма и тип выделений. Кинетика процесса выделений. Дисперсное упрочнение.

Терромагнитная обработка. Теория Таничучи-Ямитомо.

Распад пересыщенного твердого раствора. Старение моно- и поликристаллических сплавов.

Механизм и кинетика образования зародышей. Дисперсионное твердение медных и алюминиевых сплавов.

Изменение механических свойств сплавов в процессе старения.

Теория терромагнитной обработки металлов.

### **Магнитные свойства твердых тел**

Диамагнетизм. Парамагнетизм. Ферромагнетизм. Кривая технического намагничивания вещества.

Механизм воздействия ПМП на диффузионные процессы, контролирующие процессы старения.

### **Физико-механические свойства меди и медных сплавов**

Диаграмма состояния.

Основные физико-механические свойства состаренных медных сплавов: 1) прочностные свойства; 2) магнитные свойства.

Старение медных сплавов под влиянием постоянного магнитного поля. Особенности.

Влияние термообработки на структуру и свойства бериллиевой бронзы БрБ-2.

Экспериментальные методы исследования процесса старения.

### **Литература:**

1. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. – М.: Высшая школа, 2000.
2. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. – М.: Наука, 1982; М.: МЦНМО, 2000 (2-е издание, испр. и доп.).
3. Брандт Н.Б., Кульбачинский В.А. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.
4. Дикарева Р.П. Введение в кристаллофизику. – М.: Наука, 2007.
5. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия. Учебник для ВУЗов. – М.: Книжный дом, 2005.
6. Чупрунов Е.В., Хохлов А.Ф., Фадеев М.А. Основы кристаллографии: учеб. для вузов. – М.: Физматлит, 2004.
7. Гуревич А.Г. Физика твердого тела: Учебное пособие для вузов / ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. – СПб.: Невский Диалект; БХВ–Петербург, 2004.
8. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. – М.: МИСИС, 2002.
9. Матухин В.П., Ермаков В.Л. Физика твердого тела. – СПб.: Лань, 2010.
10. Нестехиометрия, беспорядок, ближний и дальний порядок в твердом теле / А.И. Гусев. – М.: Физматлит, 2007.
11. Страумал Б.Б. Фазовые переходы на границах зерен. – М.: Наука, 2003.
12. Прудников В.В., Вакилов А.Н., Прудников П.В. Фазовые переходы и методы их компьютерного моделирования. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.
13. Введение в физику твердого тела. Основы квантовой механики и статистической физики с отдельными задачами физики твердого тела : учеб. пособие для вузов / И.Ф. Гинзбург. – СПб: Лань, 2007.
14. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля: Учебное пособие для вузов: Пер. с англ. / Д. Брандон, У. Каплан. – М.: Техносфера, 2006.

15. Физикохимия поверхности: [учебник-монография для ун-тов] / В.И. Ролдугин. – Долгопрудный: Интеллект, 2009.
16. Бокштейн Б.С., Ярославцев А.Б. Диффузия атомов и ионов в твердых телах. – М.: МИСИС, 2005.
17. Мазанко В.Ф., Покоев А.В., Миронов В.М. и др. Диффузионные процессы в металлах под действием магнитных полей и импульсных деформаций: в двух томах. – М.: Машиностроение-1; Самара: Самарский университет, 2006.
18. Мерер Х. Диффузия в твердых телах. Монография. Пер. с англ. – Долгопрудный: Интеллект, 2011.
19. Боровик Е.С., Еременко В.В., Мильнер А.С. Лекции по магнетизму. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.
20. Физические методы исследования неорганических веществ. Под ред. Никольского А.Б. – М.: Академия, 2006.
21. Физика твердого тела: лабораторный практикум. В 2-х т. / под ред. проф. А.Ф. Хохлова. Том. 1. Методы получения твердых тел и исследования их структуры. – М.: Высшая школа, 2001.
22. Винтайкин Б.Е. Физика твердого тела. Учебное пособие. – М.: МГТУ, 2006.
23. Зиненко В. И., Сорокин Б. П., Турчин П. П. Основы физики твердого тела: Учеб. пособие для вузов. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.
24. Вакс В.Г. Межатомные взаимодействия и связь в твердых телах. – М.: ИздАТ, 2002.
25. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
26. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. I, II. М.: Мир, 1979.
27. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
28. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971.
29. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979.
30. Р.Б. Моргунов. А.А. Баскаков, Корреляция между возникновением магнитоупругого эффекта и изменениями спектров электронного парамагнитного резонанса после закаливания монокристаллов NaCl: Eu, ФТТ, 2003, Т.45, №1, с. 91-94.
31. В.И. Альшиц. Е.В. Даринская. М.В. Колдаева. Е.А. Петржик, Магнитоупругий эффект: основные свойства и физические механизмы, Кристаллография, 2003, Т.48, №5, с. 838-867.
32. Ю.В. Осинская. А.В. Покоев, Упрочнение бериллиевой бронзы при старении в постоянном магнитном поле, ФХОМ, 2003, №3, с. 18-25.
33. В.М. Анищик. С.И. Жукова, Прочностные свойства бериллиевой бронзы, ФХОМ, 2003, №5, с. 11-14.
34. Р.Б. Моргунов, Спин-зависимые реакции между дефектами структуры и их влияние на пластичность кристаллов в магнитном поле, Вестник РФФИ, 2003, №2(32), с. 19-46.
35. В.В. Слезов, Фазовые превращения в конденсированных средах

при конечной скорости образования метастабильного состояния, ФТТ, 2003, Т.45, №2, с. 317-320.

36. Р.Б. Моргунов, Спиновая микромеханика в физике пластичности, УФН, 2004, Т. 174, №2, с. 130-143.

37. В.М. Анищик. С.И. Жукова. Н.И. Поляк. В.А. Скуратов. Л.А. Васильева. А.Ю. Дидик, Кинетика старения бериллиевой бронзы при пострadiационном отжиге, ФХОМ, 2004, №6, с. 20-24.

38. Ю.И. Головин, Магнитопластичность твердых тел, ФТТ, 2004, Т.46, №5, с. 769-803.

39. О.Д.Шашков, Структура и свойства дисперсионно-твердеющих сплавов с упорядоченной матрицей (обзор), ФММ, 2005, Т.100, №6, с. 57-66.

40. А.Е. Смирнов. Н.Н. Беккауер. А.Э. Волошин, Влияние предварительной магнитной и термомагнитной обработки на микротвердость кристаллов KDP, ФТТ, 2005, Т.47, №5, с. 1253-1254.

41. В.А. Макара. Н.Н. Носик. Б.Д. Пацай, Рентгенодифракционное исследование влияния нейтронного облучения на процессы дефектообразования в отожженных при высоких температурах кристаллах Cz-Si, ФММ, 2005, Т.47, №10, с. 1791-1795.

42. В.В. Корчевский, Применение численных методов для определения параметров кристаллической структуры по профилю одной дифракционной линии, Известия высших учебных заведений. Физика, 2005, №4, с. 76-79.

43. Гантмахер В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах. М.: Физматлит, 2005.

44. Б.Н. Даринский. В.Н. Феклин, Спиновые эффекты в немагнитных кристаллах в магнитном поле, ФТТ, 2006, Т.48, №9, с. 1614-1616.

45. А.Л. Бучаченко, О влиянии магнитного поля на механику немагнитных кристаллов: происхождение магнитопластического эффекта, ЖЭТФ, 2006, Т.129, №5, с. 909-913.

46. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля: Учебное пособие для вузов. Пер. с англ. М.: техносфера, 2006.

47. Б.В. Петухов, Эффект твердорастворенного разупрочнения кристаллических материалов. Обзор, Кристаллография, 2007, Т.52, №1, с. 113-124.

48. А.Л. Бучаченко, Физическая кинетика магнитопластичности диамагнитных кристаллов, ЖЭТФ, 2007, Т.132, №4, с. 827-830.

49. С.В. Терехов, Взаимная диффузия в конденсированных растворах, ЖТФ, 2007, Т.77, №8, с. 36-43.

50. А.В. Попов, Конденсация кластеров бериллия, ФТТ, 2008, Т.50, №4, с. 759-764.

51. Старение сплавов под ред. Захаровой М.И.. М.: Metallurgizdat, 1962.

52. Гофпенец Р.Л.. Разупрочняющие процессы в стареющих сплавах. Минск: Наука и техника, 1979.

53. Лариков Л.Н., Шматко О.А. Ячеистый распад пересыщенных твердых растворов. Киев : Наукова думка, 1976.
54. Чуистов К.В. Модулированные структуры в стареющих сплавах. Киев : Наукова Думка, 1975.
55. Вонсовский С.В. Магнетизм. М. : Наука, 1971.
56. Акимова И.А., Покоев А.В. Диффузионные процессы в металлах. Учебное пособие по спецкурсу. Куйбышев, КуГУ, 102 с.
57. Чуистов К.В. Старение металлических сплавов. Киев : Наукова Думка, 1985
58. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронномикроскопический анализ. Москва : МИСИС, 2002.
59. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов М. : МИСИС, 1999, 414 с.
60. Гуров К.П., Смирнов Е.А., Шабалин А.Н. Диффузия и кинетика фазовых превращений в металлах и сплавах. М.,1990.
61. Захаров М.А. Диффузионная кинетика и спинодальный распад квазиравновесных твердых растворов. ФТТ, 2000, Т. 42, вып. 7, с.1234-1239.
62. Устюгов Ю.М., Кондратьев В.В. Распад пересыщенных твердых растворов. Описание переходного процесса от граничной кинетики к диффузионно-контролируемой стадии коалесценции. ФТТ, 2002, Т. 93, №2, с. 38-45.
63. Ю.И. Головин. А.А. Дмитриевский. И.А. Пушкин, Влияние ультраслабого ионизирующего облучения на магнитоэластический эффект в монокристаллах фуллерита  $C_{60}$ , ФТТ,2003, Т.45,№1, с. 187-190.
64. К.В.Чуистов. А.Е.Перекоп. Т.В.Ружицкая, Особенности магнитного взаимодействия между выделениями в малых частицах сплавов на основе меди, ФММ, 2003, Т.96 ,№5, с. 43-50.
65. Р.Б. Моргунюв. А.А. Баскаков, Корреляция между возникновением магнитоэластического эффекта и изменениями спектров электронного парамагнитного резонанса после закаливания монокристаллов  $NaCl: Eu$ , ФТТ, 2003, Т.45 ,№1, с. 91-94.