

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ МЕТАЛЛОВ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



Директор ИПСМ РАН, д.ф.-м.н.

Р.Р. Мулюков

2014 г.

ПРОГРАММА

вступительных экзаменов в аспирантуру ИПСМ РАН

по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия»

Профиль

«Физика конденсированного состояния»

Уфа 2014

1. СТРУКТУРА И СИММЕТРИЯ КРИСТАЛЛОВ

1.1. Силы связи в конденсированных средах

Типы сил связи в конденсированном состоянии: ионная, металлическая, ковалентная связь, силы Ван-дер-Ваальса. Структурные и физические особенности ионных, ковалентных, металлических и молекулярных кристаллов. Влияние типа связи на структуру и свойства конденсированного вещества.

1.2. Симметрия твердых тел

Кристаллические и аморфные тела. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетки Браве. Обратная решетка, ее свойства. Зоны Бриллюэна. Обозначение узлов, направлений и плоскостей в кристаллической решетке (индексы Миллера, Миллера-Браве). Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Вульфа-Брегга.

Примеры кристаллических решеток: простая кубическая решетка, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структуры типа NaCl, алмаза и графита.

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

2. ДЕФЕКТЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

2.1. Точечные дефекты

Вакансии и межузельные атомы, характер и уровень связанных с ними искажений кристаллических решеток. Энергия вакансий и межузельных атомов. Механизм образования и миграция точечных дефектов. Термодинамика точечных дефектов, их равновесные концентрации. Источники и стоки точечных дефектов. Дефекты Френкеля и Шоттки. Комплексы вакансий. Примесные атомы внедрения и замещения.

2.2. Линейные дефекты

Краевая, винтовая и смешанная дислокации. Контур и вектор Бюргерса, свойства вектора Бюргерса. Энергия дислокации: упругая энергия, энергия ядра. Линейное натяжение дислокации. Силы, действующие на дислокации со стороны внешнего поля напряжений. Силы взаимодействия дислокаций. Консервативное и неконсервативное движение дислокаций. Типичные дислокации в ГЦК, ОЦК и ГПУ металлах. Расщепление дислокаций в плотноупакованных структурах. Критерий Франка. Полные и частичные дислокации. Энергия дефекта упаковки и ширина расщепления дислокаций. Механизмы образования

дислокаций в металлах. Источник Франка-Рида. Дислокационная структура металлов. Плотность дислокаций. Методы экспериментального наблюдения дислокаций.

Дисклинации в кристаллах. Вектор Франка дисклинаций. Клиновые дисклинации и дисклинации кручения. Полные и частичные дисклинации. Связь между дисклинациями и дислокациями.

2.3. Границы субзерен и блоков

Экранировка поля напряжений дислокаций. Образование упорядоченных дислокационных структур. Типы и дислокационная структура малоугловых границ. Границы наклона и кручения, смешанные границы. Угол разориентировки малоугловых дислокационных границ.

2.4. Границы зерен

Типы границ зерен. Границы наклона и кручения. Смешанные границы. Геометрические параметры, характеризующие границы зерен. Зависимость строения большеугловых границ от угла разориентации. Малоугловые и большеугловые границы зерен: природа различий и критерий различения.

Геометрия большеугловых границ зерен. Решетка совпадающих узлов и специальные границы. Границы, близкие к специальным. Структурные и внесенные зернограницные дислокации. Полная решетка наложений и ее связь с зернограницными дислокациями. Структура произвольных границ зерен. Модель структурных единиц.

Взаимодействие границ зерен с точечными дефектами и дислокациями решетки. Размытие дислокаций в границах зерен и ее связь с перестройками в структуре границ зерен. Неравновесная структура границ зерен и ее возврат.

Тройные стыки зерен. Равновесие границ зерен в стыке. Геометрические соотношения для тройных стыков. Дисклинации в стыках зерен.

3. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР КРИСТАЛЛОВ

3.1. Квазичастицы

Описание энергетического состояния кристалла при помощи газа квазичастиц. Примеры квазичастиц: фононы, магноны, экситоны, плазмоны и др. Теорема Блоха и ее основные следствия. Волновая функция электронов в идеальных кристаллических структурах. Электроны в металле как квазичастицы. Квазиволновой вектор и квазиимпульсы электронов в кристаллических решетках.

3.2. Элементы зонной теории кристаллов

Энергетические зоны в кристаллах. Формирование энергетических зон и их заполнение электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

3.3. Колебания кристаллической решетки

Колебания простых и сложных решеток. Фононы. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Теплоемкость решетки. Дебаевская частота. Температура Дебая. Ангармонизм. Тепловое расширение. Тепловые эффекты фазовых переходов и смены агрегатного состояния.

4. ЭЛЕКТРОННЫЕ КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

4.1. Электропроводность и теплопроводность

Время релаксации. Механизмы рассеяния электронов. Рассеяние на примесях и дефектах. Магнитосопротивление и эффект Холла.

4.2. Металлы с большой длиной пробега электронов

Аномальный скин-эффект. Проникновение электромагнитного поля в металл. Геликоны. Квантование орбит в магнитном поле. Эффект де-Гааза-ван-Альфена.

4.3. Полупроводники

Электронная структура типичных полупроводников. Германий. Узкозонные полупроводники. Примесные уровни. Доноры и акцепторы. Температурная зависимость проводимости, *p-n* переходы.

5. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

5.1. Упругая деформация твердых тел

Тензоры упругих деформаций и напряжений. Тензор упругих постоянных кристаллов. Обобщенный закон Гука. Упругие постоянные изотропных тел. Закон Гука для деформаций одноосного и всестороннего растяжения / сжатия, сдвига и кручения изотропных твердых тел. Упругая энергия деформированного твердого тела.

5.2. Пластическая деформация кристаллов

Предел текучести кристаллов. Упрочнение при пластической деформации. Механизмы пластической деформации. Кристаллография скольжения. Факторы ориентировки для моно- и поликристаллов. Три стадии пластической деформации ГЦК

металлов. Микроструктура на различных стадиях пластической деформации. Соотношение между деформирующим напряжением и плотностью дислокаций. Экспериментальные методы исследования механических свойств.

5.3. Пластическая деформация поликристаллов

Роль границ зерен при пластической деформации при низких и высоких температурах. Соотношение Холла-Петча и его объяснение. Нарушения соотношения Холла-Петча для нанокристаллов. Пластичность поликристаллов при повышенных температурах. Диффузионная ползучесть Набарро-Херринга и Кобла. Зернограничное проскальзывание и сверхпластическая деформация. Сверхпластичность ультрамелкозернистых материалов.

6. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Диамагнетизм свободного электронного газа. Спиновый парамагнетизм. Закон Кюри. Ферромагнетизм. Обменное взаимодействие. Домены. Ферромагнетики и антиферромагнетики. Ферриты. Физическая природа коэрцитивной силы, связь со структурными факторами.

7. ДИЭЛЕКТРИКИ

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

8. ТЕРМОДИНАМИКА И ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ

Равновесие фаз. Фазовые переходы 1-го и 2-го рода. Плавление и кристаллизация. Твердые растворы и промежуточные фазы. Равновесие в многокомпонентных системах и правило фаз. Диаграммы равновесия. Кинетика фазовых превращений. Диффузионные и бездиффузионные превращения.

9. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

Рентгенография: методы исследования идеальной и реальной структуры. Электронография и электронная микроскопия. Физические методы исследования. Спектроскопия.

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. - М.: Наука, 1978. - 791 с.
2. Жданов Г.С. Физика твердого тела. - Москва, Изд. МГУ, 1962. - 500 с.
3. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. - М.: Высшая школа, 2000. - 494 с.
4. Зиненко В.И., Сорокин Б.П., Турчин П.П. Основы физики твердого тела. - М.: Гл. ред. физ.-мат. лит., 2001. - 335 с.
5. Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. - М.: Металлургия, 1990. - 336 с.
6. Штремель М.А. Прочность сплавов. Часть 1. Дефекты решетки. - М.: МИСИС, 1999. - 384 с.
7. Штремель М.А. Прочность сплавов. Часть 2. Деформация. - М.: МИСИС, 1997. - 527с.
8. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов. М.: Мир, 1972. – 406 с.
9. Сверхпластичность ультрамелкозернистых сплавов: эксперимент, теория, технологии. Под ред. Мулюкова Р.Р., Имаева Р.М., Назарова А.А., Имаева В.М., Имаева М.Ф. - М.: Наука, 2014. - 284 с.
10. Орлов А.Н., Перевезенцев В.Н., Рыбин В.В. Границы зерен в металлах. – М.: Металлургия, 1980. – 156с.
11. Кайбышев О.А., Валиев Р.З. Границы зерен и свойства металлов. – М.: Металлургия, 1987. – 216 с.

Дополнительная литература

1. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. 1, М.: Мир, 1979. – 399 с.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела, Т. 2, М.: Мир, 1979. – 422 с.
3. Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П. Основы кристаллофизики. М.: Наука, 1975. - 680 с.
4. Кан Р.У. Физическое металловедение. В 3-х томах. - М.: Металлургия, 1987.
5. Готтштайн Г. Физико-химические основы материаловедения. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 400 с.
6. Абрикосов А.А. Основы теории металлов. - М.: Физматлит, 2009. – 598 с.
7. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 5. Электричество и магнетизм. - М.: Мир, 1977. - 304 с.
8. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 7. Физика сплошных сред. - М.: Мир, 1966. - 292 с.