

Физика функциональных материалов

Лектор: д.ф.-м.н., профессор Гиппиус Андрей Андреевич
(кафедра физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета МГУ)

Код курса:
Статус: по выбору
Аудитория: специальный
Специализация: физика низких температур
Семестр: 3
Трудоёмкость: 2 з.е.
Лекций: 36 часов
Семинаров:
Практ. занятий:
Отчётность: зачет
Начальные компетенции: М-ПК-6
Приобретаемые компетенции: М-ПК-1, М-ПК-2

Аннотация курса

Курс «Физика функциональных материалов» посвящен систематическому изложению физических и кристаллохимических свойств новых перспективных функциональных материалов, представляющих интерес для практического применения. Основной акцент делается на новые материалы для энергосберегающих технологий, что является в настоящее время чрезвычайно актуальным. К этой области относятся различные материалы для термоэлектрических применений, твердотопливных элементов и литий-ионных аккумуляторов. Кроме того, в курсе рассматриваются физические свойства магнитных наночастиц на основе оксидов железа, перспективных для использования в медицине. Особое внимание в курсе уделяется экспериментальным методам измерения специфических свойств функциональных материалов, таких как высокотемпературная электропроводность, импеданс-спектроскопия керамических материалов для топливных элементов, а также ЯМР, ЯКР и Мессбауэровская спектроскопия.

Приобретаемые знания и умения

В результате изучения дисциплины студент приобретает знания физических явлений, лежащих в основе применения различных современных функциональных материалов, а также их практической реализации в экспериментальных установках и действующих технических устройствах. В рамках курса студенты знакомятся как с физико-химическими свойствами различных современных функциональных материалов и материаловедческими аспектами их прикладного использования, так и с экспериментальными методами измерения их специфических свойств.

Образовательные технологии

При чтении лекций сложная графическая информация представляется с помощью медиа-проектора. Расширенная программа курса, список вопросов для экзамена, список домашних заданий, слайды с графической информацией представляются студентам в электронном и, при необходимости, в печатном виде.

Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП

Курс предполагает знание студентами основ физики твердого тела, излагаемых в обязательных курсах ООП «Введение в физику конденсированного состояния», «Квантовая теория твердого тела» и «Кооперативные явления в физике конденсированного состояния». Кроме того, предполагается знание основных методов физических измерений, излагаемых в обязательном курсе ООП «Экспериментальные методы физики низких температур», а также специальных спектроскопических методов – ЯМР, ЯКР и мессбауэровской спектроскопии, излагаемых в обязательном курсе ООП «Спектроскопические методы исследования твердого тела»

Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего

Научно-исследовательская практика, научно-исследовательская работа, курсовая работа, магистерская диссертация.

Основные учебные по-

1. G.A. Slack, in "Handbook of Thermoelectrics, ed. by D.M. Rowe (CRC Press, FL, 1995).

события, обеспечивающие курс	2. B.C. Sales, Filled Skutterudites in “Handbook on the Physics and Chemistry of the Rare Earths”, 2002. 3. S.P.S. Badwal, K. Foger, Solid Oxide Electrolyte Fuel Cell Review, Ceramics International, v.22, p.257-265, 1996. 4. John B. Goodenough, Oxide-ion electrolytes, Ann. Rev. Mater. Res. v.33, p.91–128, 2003. 5. Osamu Yamamoto, Solid oxide fuel cells: fundamental aspects and prospects, Electrochimica Acta, v.45, p.2423–2435, 2000.
Основные учебно-методические работы, обеспечивающие курс	1. А.А. Гиппиус, «Измерение электропроводности керамических образцов», Москва, Физический факультет МГУ, 2011. 2. B.C. Sales, Filled Skutterudites in “Handbook on the Physics and Chemistry of the Rare Earths”, 2002.
Основные научные статьи, обеспечивающие курс	1. А.В. Шевельков, Химические аспекты создания термоэлектрических материалов, Успехи химии, т. 77, №1, 2008. 2. B.C. Sales et al., Filled skutterudite antimonides: Electron crystals and phonon glasses, Phys. Rev. B, v.56, 15081, 1997. 3. S.M. Haile, Fuel cell materials and components, Acta Materialia, v.51, p.5981–6000, 2003. 4. A.B. Stambouli, E.Traversa, Solid oxide fuel cells (SOFCs): a review of an environmentally clean and efficient source of energy, Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.6, p.433–455, 2002.
Программное обеспечение и ресурсы в интернете	www.thermoelectrics.caltech.edu www.tellurex.com mypages.iit.edu/~smart/garrear/fuelcells.htm
Контроль успеваемости	Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе по результатам контрольной работы и посещаемости лекций. Текущая аттестация проводится на каждой лекции на основании посещаемости лекций и ответов на вопросы.
Фонды оценочных средств	Задачи и вопросы для контрольных работ вопросы и задачи к зачету, вопросы для контроля текущего усвоения материала на лекциях.

Структура и содержание курса

I. Материалы для термоэлектрических применений

1. Явление термоэлектричества.
2. Коэффициент термоэлектрической эффективности.
3. Концепция «электронный кристалл-фононное стекло».
4. Принцип действия термоэлектрических элементов.
5. Коммерческие термоэлектрические материалы.
6. Скуттерудиты - перспективные материалы для термоэлектрических применений.

II. Твердооксидные топливные элементы

1. Принцип действия топливных элементов.
2. Классификация топливных элементов.
3. Материалы для твердоотопливных элементов.
4. Физические свойства керамических материалов для твердоотопливных элементов.

III. Ядерный магнитный резонанс как мощный современный метод исследования новых функциональных материалов

1. История метода ЯМР
2. Физические основы ЯМР.
 - 2.1. Спин ядра. Магнитный момент ядра. Гиромагнитное отношение. Квадрупольный момент ядра. Таблица ядер, используемых в ЯМР/ЯКР

- твердого тела.
- 2.2. Поведение системы ядер в постоянном и переменном магнитных полях. Макроскопическая намагниченность. Основные формулы ЯМР.
- 2.3. Спиновое эхо.
- 2.4. Квадрупольные эффекты. Основные соотношения ЯКР.
- 3. Техника ЯМР/ЯКР спектроскопии твердого тела
 - 3.1. Требования к спектрометру ЯМР-ЯКР.
 - 3.2. Блок-схема спектрометра ЯМР-ЯКР.
 - 3.3. Датчик спектрометра ЯМР-ЯКР.
- 4. Применение методов ЯМР и ЯКР к исследованию перспективных термоэлектрических материалов:
 - 4.1. Особенности кристаллической структуры и магнитных свойств заполненных скуттерудитов.
 - 4.2. Формирование энергетической щели в коррелированных узкозонных полупроводниках FeSb_2 и RuSb_2 .

IV. Особенности измерения электрофизических свойств керамических материалов_

III(a). Экспериментальные методы измерения электропроводности на постоянном токе

- 1. 2-контактный и 4-контактный метод. Влияние термоЭДС. Метод Van der Pauw.
- 2. Измерение электропроводности соединений со смешанной проводимостью. Определение удельного сопротивления.
- 3. Практическая реализация 2-х и 4-х контактных методов для измерения электропроводности керамических образцов при высоких температурах.
- 4. Примеры экспериментальных результатов.

III(b). Измерение сопротивления на переменном токе

- 1. Импедансная спектроскопия. Принцип импедансной спектроскопии.
- 2. Основные электрохимические элементы и их спектры.
- 3. Экспериментальные методы импедансной спектроскопии.
- 4. Практическая реализация измерения импеданса на основе Lock-In усилителя.
- 5. Применение импедансной спектроскопии для исследования топливных элементов.

V. Магнитные наночастицы

- 1. Классификация наночастиц и материалов на их основе.
- 2. Методы получения магнитных наночастиц и наноматериалов. Методы стабилизации наночастиц.
- 3. Материалы, содержащие магнитные наночастицы.
- 4. Магнитные наночастицы в биологических объектах.
- 5. Исследование магнитных свойств наночастиц: Мессбауэровская спектроскопия.
- 6. Применение метода ЯМР для исследования наночастиц

VI. Материалы для литий-ионных аккумуляторов

- 1. Основные электрохимические процессы в литий-ионных аккумуляторах.
- 2. Требования к компонентам аккумуляторов.
- 3. Применение ЯМР для исследования физических свойств материалов для литий-ионных аккумуляторов.

Вопросы и задания по курсу:

По теории:

- 1. Что такое термоэлектричество?
- 2. В чем заключаются эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона?
- 3. Запишите формулы, связывающие коэффициенты Зеебека, Пельтье и Томсона.

4. Запишите и поясните уравнение холодопроизводительности.
5. Как устроены термоэлектрические элементы и сборки?
6. Что такое коэффициент термоэлектрической эффективности и чем он определяется?
7. Нарисуйте графики $ZT(T)$ для наиболее известных термоэлектрических материалов.
8. Каковы методы оптимизации термоэлектрической эффективности?
9. В чем заключается концепция «Фононное стекло – Электронный кристалл»?
10. Приведите примеры реализации концепция «Фононное стекло - Электронный кристалл»
11. Что такое топливный элемент? В чем различие топливного элемента от аккумулятора?
12. Перечислите виды топливных элементов и укажите их основные характеристики.
13. Объясните устройство и принцип работы твердооксидного топливного элемента.
14. Запишите электрохимические реакции, проходящие в каждом электроде твердооксидного топливного элемента.
15. Какие требования предъявляются к материалам катода, анода и электролита твердооксидного топливного элемента.
16. Чем отличаются магнитные свойства объемных магнетиков и магнитных наночастиц?
17. Что такое температура блокировки?
18. Опишите устройство и принцип действия литий-ионных аккумуляторов.
19. Запишите основные электрохимические реакции, протекающие в литий-ионных аккумуляторах.

По эксперименту:

1. Что такое спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР)?
2. Что такое спектроскопия ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР)?
3. Нарисуйте схему уровней энергии и переходов для ядер со спином $I=3/2$ для случая ЯМР и ЯКР

4. Опишите 2-контактный и 4-контактный методы измерения удельного сопротивления. Нарисуйте эквивалентные схемы.
5. Что такое метод Van der Pauw?
6. Опишите устройство высокотемпературной ячейки для измерения сопротивления керамических образцов.
7. Что такое импедансная спектроскопия? Что дает ее применение для исследования материалов для твердооксидных топливных элементов?
8. Что такое квадратурное детектирование? Принцип работы импеданс-метра.
9. Перечислите основные электрохимические элементы и нарисуйте их импеданс-спектры.
10. Что такое эффект Мессбауэра? Как проявляется переход в магнитоупорядоченное состояние на мессбауэровском спектре?
11. Приведите пример использования спектроскопии ЯМР для исследования свойств металлических наночастиц.
12. Каковы возможности и ограничения метода ЯМР для исследования материалов для литий-ионных аккумуляторов?

•

• **Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

1. G.A. Slack, in "Handbook of Thermoelectrics, ed. by D.M. Rowe (CRC Press, FL, 1995).
2. B.C. Sales, Filled Skutterudites in "Handbook on the Physics and Chemistry of the Rare Earths", 2002.
3. S.P.S. Badwal, K. Foger, Solid Oxide Electrolyte Fuel Cell Review, Ceramics International, v.22, p.257-265, 1996.
4. John B. Goodenough, Oxide-ion electrolytes, Ann. Rev. Mater. Res. v.33, p.91–128, 2003.
5. Osamu Yamamoto, Solid oxide fuel cells: fundamental aspects and prospects, Electrochimica Acta, v.45, p.2423–2435, 2000.
6. А.А. Гиппиус, «Измерение электропроводности керамических образцов», Москва, Физический факультет МГУ, 2011.
7. B.C. Sales, Filled Skutterudites in "Handbook on the Physics and Chemistry of the Rare Earths", 2002.
8. А.В. Шевельков, Химические аспекты создания термоэлектрических материалов, Успехи химии, т.77, №1, 2008.
9. А.А. Гиппиус, «Специальный практикум по радиоспектроскопии конденсированного состояния (учебное пособие)», Москва, Физический факультет МГУ, 2013.
10. B.C. Sales et al., Filled skutterudite antimonides: Electron crystals and phonon glasses, Phys. Rev. B, v.56, 15081, 1997.
11. S.M. Haile, Fuel cell materials and components, Acta Materialia, v.51, p.5981–6000, 2003.
12. A.B. Stambouli, E.Traversa, Solid oxide fuel cells (SOFCs): a review of an environmentally clean and efficient source of energy, Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.6, p.433–455, 2002.