

Программа утверждена на заседании
Ученого Совета химического факультета
МГУ имени М.В.Ломоносова
Протокол № 4 от 29 мая 2014 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

1. Наименование дисциплины (модуля): Основы физики конденсированного состояния.

Краткая аннотация:

Курс предназначен для аспирантов, специализирующихся в области неорганического материаловедения и является основой для понимания физических процессов в широком классе материалов, включающем металлы, диэлектрики, полупроводники. Существенная часть курса посвящена рассмотрению основных представлений зонной теории кристаллических твердых тел. Курс рассчитан на слушателей знакомых с основами кристаллохимии и с основными положениями квантовой механики. В разделе «Контактные явления» рассматриваются процессы на границах раздела, что важно для понимания механизмов транспорта в поли- и нано-кристаллических материалах. Курс включает лекционные занятия в сочетании с самостоятельной работой. Освоение дисциплины необходимо для научной работы, предполагающей наличие междисциплинарных подходов к исследованиям.

2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре

3. Направление подготовки: 04.06.01 Химические науки, **направленности**: Неорганическая химия, Физическая химия, Химия твердого тела

4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок 1 «Дисциплины (модули)».

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1 способность к критическому анализу и оценке современных научных до-	В1 (УК-1) Владеть навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении иссле-

стижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	довательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	У1 (ОПК-1) Уметь выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования
ПК-1 Способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности) 02.00.01 Неорганическая химия	32 (ПК-1) Знать современные методы исследования полупроводников
ПК-16 способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности) 02.00.21 Химия твердого тела	32 (ПК-16) Знать современные методы исследования точечных и протяженных дефектов в полупроводниках

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часа, из которых 42 часа составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (30 часов занятия лекционного типа, 12 часов мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), 66 часов составляет самостоятельная работа учащегося.

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Знать: основополагающие принципы, положенные в основу представлений об энергетическом спектре электронов в кристаллических твердых телах; представления о квазичастицах, характеризующих как электронные, так и решеточные процессы в кристаллах; основные свойства металлов, полупроводников, диэлектриков.

Уметь: выбирать наиболее адекватные методы экспериментального определения основных характерных свойств исследуемых материалов, сопоставлять свойства исследуемых образцов с фундаментальными характеристиками материала.

Владеть: простейшими расчетными методами решения физико-химических задач.

Дисциплины и практики (навыки), освоение которых необходимо для данной дисциплины как предшествующее: «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Уравнения математической физики», «Теория вероятностей», «Теоретическая механика», «Дифференциальные уравнения», «Реальная структура твердого тела», «Квантовая химия», «Общая физика», «Квантовая механика», «Кристаллохимия»;

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов. ит.п..	Всего
Тема 1 Основы зонной теории твердых тел.	26	12			2		14	12		12

Тема 2 Статистика носителей заряда.	19	6			1		7	12		12
Тема 3 Явления переноса	17	4			1		5	12		12
Тема 4 Свойства диэлектриков	15	2			1		3	12		12
Тема 5 Неравновесные явления в полупроводниках	14	2					2	12		12
Тема 6 Контактные явления.	17	4			1		5	12		12
Промежуточная аттестация <i>зачет</i>						6				
Итого	108	30			6	6	36	66		66

Лекции по теме 1.

№ 1. 2 часа.

Стационарные состояния и энергетический спектр электронов в кристалле. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение (метод Хартри-Фока). Самосогласованное поле. Элементарные возбуждения (квазичастицы)

№ 2. 2 часа

Функция Блоха. Обратная решетка. Периодичность волновых функций и энергий по квазиволновому вектору. Приближение сильно связанных электронов.

№ 3. 2 часа

Приближение слабой связи. Потенциал Кронига-Пенни. Зоны Бриллюэна.

№4. 2 часа

Циклические граничные условия Кармана-Борна. Движение электрона в кристалле под действием внешнего поля. Метод эффективной массы.

№ 5. 2 часа

Эффективная масса как характеристика закона дисперсии. Понятие дырки. Определение эффективных масс электронов и дырок методом циклотронного резонанса. Водородоподобные примесные центры. Мелкие и глубокие примесные уровни в полупроводниках.

№ 6. 2 часа.

Квантование энергии электронов в магнитном поле. Идеальный газ электронов. Электроны в металле. Циклотронная и спиновая эффективные массы.

Лекции по теме 2.

№ 7. 2 часа.

Функция плотности состояний для квадратичного изотропного и неизотропного законов дисперсии. Эффективная масса плотности состояний. Функция распределения Ферми. Вырожденная и невырожденная статистики носителей заряда.

№8. 2 часа.

Статистика носителей заряда на примесных центрах. Зависимость положения уровня Ферми от температуры.

№ 9. 2 часа.

Плотность состояний в магнитном поле. Ультраквантовый предел магнитных полей. Формула Лифшица-Онзагера

Лекции по теме 3.

№ 10. 2 часа.

Электропроводность и подвижность. Механизмы рассеяния носителей заряда. Эффект Холла. Случаи монополярной и биполярной проводимости.

№ 11. 2 часа.

Колебания одномерной цепочки из одинаковых атомов и атомов двух типов. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Фононы..

Лекции по теме 4.

№ 12. 2 часа.

Статические поля. Поляризация. Уравнение дипольной релаксации.

Статическая и высокочастотная диэлектрическая проницаемость. Комплексная диэлектрическая проницаемость

Лекции по теме 5.

№ 13. 2 часа.

Генерация и рекомбинация носителей заряда. Время релаксации. Механизмы рекомбинации электронов и дырок. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Соотношение Эйнштейна.

Лекции по теме 6.

№ 14. 2 часа.

Дебаева длина экранирования. Обедненный слой Шоттки. Работа выхода и контактная разность потенциалов. Запирающий и антизапирающий слои. Барьер Шоттки..

№15. 2 часа.

p-n и переходы в полупроводниках. Распределение поля и потенциала в p-n переходе. Вольт-амперная и вольт-фарадная характеристики p-n переходов. Туннельный диод..

8. Образовательные технологии

Преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ физического и химического факультетов МГУ.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

Российские журналы «Физика твердого тела», «Физика и техника полупроводников», «Журнал экспериментальной и теоретической физики», «Успехи физических наук». «Успехи химии», «Неорганические материалы».

10. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

Основная литература

1. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. Москва, Наука, 1978.
2. Дж. Блейкмор. Физика твердого тела. Москва, Мир, 1988.
3. Н.Б. Брандт, В.А. Кульбачинский. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. Москва, Физматлит, 2005.
4. В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г.Калашников. Физика полупроводников. Москва, Наука, 1990.
5. П.С. Киреев. Физика полупроводников. Москва, Высшая школа, 1975.
6. К.В. Шалимова. Физика полупроводников. Москва, Энергоатомиздат, 1985; С.-Петербург, Лань, 2010.

Дополнительная литература

1. М.И. Каганов, И.М. Лифшиц. Квазичастицы. Москва, Наука, 1989.
2. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. Москва, Мир, 1974.
3. И.М. Лифшиц, М.Я. Азбель, М.И. Каганов. Электронная теория металлов. Москва, Наука, 1971.
4. Ю, М. Кардона. Основы физики полупроводников. Москва, Физматлит, 2002.
5. И.М. Цидильковский. Зонная структура полупроводников. Москва, Наука, 1978.

- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):

<http://journals.ioffe.ru>

11. Язык преподавания – русский

12. Преподаватели:

Рябова Людмила Ивановна, л.ф.-м.н., профессор, mila@mig.phys.msu.ru

Дроздов Константин Андреевич, к.ф.-м.н.

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

1. Планируемые результаты обучения для формирования компетенций п.5 и соответствующие им критерии оценивания приведены в Приложении 1.
2. Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала.

Примеры вопросов и задач для домашних заданий (ПКЗ)

1. Определить ширину разрешенной зоны для s-состояний кубической решетки. Ограничиться взаимодействием с ближайшими соседями. Ответ выразить через интеграл перекрытия и энергию соответствующей атомной орбитали.
2. Построить 3-ю зону Бриллюэна для двумерной простой кубической решетки.
3. Оценить величину магнитного поля, в котором может наблюдаться циклотронный резонанс, если время свободного пробега электрона составляет 10^{-13} с. Считать эффективную массу изотропной и равной 0.1 массы свободного электрона.
4. Определить температурную зависимость положения уровня Ферми в собственном полупроводнике. (Воспользоваться уравнением электронейтральности).
5. Типичное значение электропроводности металла составляет 10^8 (Ом м) $^{-1}$. Считая концентрацию электронов равной $5 \cdot 10^{28}$ м $^{-3}$, оценить время релаксации по энергиям. Эффективную массу положить равной m_0 .
6. Определить дрейфовую и тепловую скорости электронов в металле, если плотность электрического тока $j=1000$ А м $^{-2}$. Концентрация электронов $n=5 \cdot 10^{28}$ м $^{-3}$. Сколько постоянных решетки ($a=0.35$ нм) проходит электрон, дрейфуя по кристаллу, за 1 с? $T=300$ К.
7. Найти частоту, при которой наблюдается максимум на частотной зависимости тангенса угла потерь в диэлектрике.
8. Свет падает на тонкую полупроводниковую пластинку, генерируя свободные электроны со скоростью $G_n=10^{23}$ м $^{-3}$ /с. Концентрация электронов в темноте $n_0 = 10^{22}$ м $^{-3}$. Каково время жизни электронов, если проводимость пластины увеличилась на 0.1 %?

9. Выразить величину контактной разности потенциалов в p-n переходе через значения собственной концентрации, концентрации электронов в n-области и концентрации дырок в p-области, если известно, что полупроводник невырожден по обе стороны p-n перехода.

Полный перечень вопросов к зачету

1. Одноэлектронная задача.
2. Элементарные возбуждения (квазичастицы).
3. Функция Блоха.
4. Периодичность волновых функций и энергий по квазиволновому вектору.
5. Приближение сильно связанных электронов.
6. Приближение слабой связи.
7. Зоны Бриллюэна.
8. Циклические граничные условия Кармана-Борна.
9. Метод эффективной массы. Эффективная масса – характеристика закона дисперсии
10. Понятие дырки. Определение эффективных масс электронов и дырок методом циклотронного резонанса.
11. Водородоподобные примесные центры. Мелкие и глубокие примесные уровни в полупроводниках.
12. Квантование энергии электронов в магнитном поле.
13. Циклотронная и спиновая эффективные массы.
14. Функция плотности состояний для квадратичного изотропного и неизотропного законов дисперсии.
15. Вырожденная и невырожденная статистики носителей заряда.
16. Ультраквантовый предел магнитных полей. Формула Лифшица-Онзагера.
17. Эффект Холла. Случай монополярной проводимости.
18. Эффект Холла. Случай биполярной проводимости.
19. Колебания одномерной цепочки из одинаковых атомов.
20. Колебания одномерной цепочки из атомов двух типов.
21. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Фононы.
22. Уравнение дипольной релаксации.
23. Статическая и высокочастотная диэлектрическая проницаемость.
24. Комплексная диэлектрическая проницаемость.
25. Механизмы рекомбинации электронов и дырок.
26. Дебаева длина экранирования. Обедненный слой Шоттки.
27. Работа выхода и контактная разность потенциалов.
28. Запирающий и антизапирающий слои. Барьер Шоттки.

29. p-n и переходы в полупроводниках.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Зачет проводится по билетам, каждый из которых включает теоретические вопросы. Уровень знаний аспиранта оценивается на «зачтено», «незачтено». Оценка «зачтено» выставляется, если по шкале оценивания учащийся демонстрирует знания умения и владения, соответствующие категориям 3, 4 и 5. В ходе зачета, проводимого в форме индивидуального собеседования, оценивается степень сформированности «знаниевой» компоненты компетенций УК-2, ОПК-1, ПК-1 или ПК-16 (знание современного состояния науки в области методов исследования полупроводников). Частично сформированность умения выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования (ОПК-1) проверяется при выполнении ПКЗ (текущая аттестация), их оценка учитывается как одна из составляющих при выставлении зачета.

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «Основы физики конденсированного состояния» на основе карт компетенций выпускников

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) и ШКАЛА оценивания					ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ*
	1	2	3	4	5	
<i>V1 (УК-1) Владеть</i> навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Отсутствие знаний в области исследования электронного строения твердых тел и материалов	Фрагментарные знания в области исследования электронного строения твердых тел и материалов	Неполные знания в области исследования электронного строения твердых тел и материалов	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания в области исследования электронного строения твердых тел и материалов	Сформированные и систематические знания в области исследования электронного строения твердых тел и материалов	Зачет в форме индивидуального собеседования
<i>У1 (ОПК-1) Уметь</i> выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические	Отсутствие умений	Частично освоенное умение в выборе и применении экспериментальных и расчетно-теоретических методов исследования	В целом успешное, но не систематическое умение в выборе и применении экспериментальных и расчетно-теоретических методов исследования	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение в выборе и применении экспериментальных и расчетно-теоретических методов исследования	Успешное и систематическое умение в выборе и применении экспериментальных и расчетно-теоретических методов исследования	письменное решение задач

методы исследования			дования			
32 (ПК-1) Знать современные методы исследования полупроводников	Отсутствие знаний о современном состоянии науки в области методов исследования полупроводников	Фрагментарные представления о современном состоянии науки в области методов исследования полупроводников	Неполные представления о современном состоянии науки в области методов исследования полупроводников	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о современном состоянии науки в области методов исследования полупроводников	Сформированные систематические представления о современном состоянии науки в области методов исследования полупроводников	Зачет в форме индивидуального собеседования
32 (ПК-16) Знать современные методы исследования точечных и протяженных дефектов в полупроводниках	Отсутствие знаний о методах исследования точечных и протяженных дефектов в полупроводниках	Фрагментарные представления о методах исследования точечных и протяженных дефектов в полупроводниках	Неполные представления о методах исследования точечных и протяженных дефектов в полупроводниках	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о методах исследования точечных и протяженных дефектов в полупроводниках	Сформированные систематические представления о методах исследования точечных и протяженных дефектов в полупроводниках	Зачет в форме индивидуального собеседования

