

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета БГУ

_____ В.М. Анищик

___26.06.2009 г. _____

Регистрационный № УД-2047/баз.

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕОРИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

**Учебная программа для специальности
1-31 04 01 Физика (по направлениям)
(1-31 04 01-01 научно-исследовательская деятельность)**

2009

СОСТАВИТЕЛЬ:

М. Г. Лукашевич — доцент кафедры физики полупроводников и наноэлектроники Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Ю.А. Бумай — доцент кафедры технической физики Белорусского национального технического университета, кандидат физико-математических наук;

Н.Н. Дорожкин — доцент кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физики полупроводников и наноэлектроники физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 5 от 27 мая 2009 г.);

Ученым Советом физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 11 от 26 июня 2009 г.);

Ответственный за редакцию: М. Г. Лукашевич

Ответственный за выпуск: М.Г. Лукашевич

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа курса " Основы электронной теории твердых тел " разработана для специальности 1-31 04 01 Физика (по направлениям)

Специальный курс лекций дает строгое представление об электронных свойствах твердых тел, делении веществ по их электропроводящим свойствам на диэлектрики, полупроводники и металлы, базирующееся на зонной теории кристаллических твердых тел. На основании общих положений квантовой механики прослеживается путь и обосновывается возникновение зонного энергетического спектра электронов в кристалле, вводятся основные понятия для описания их свойств в периодическом поле решетки: эффективная масса, квазиимпульс, скорость и ускорение. Изучаются основные теоретические и экспериментальные методы определения зонной структуры и зонная структура важнейших материалов твердотельной электроники. Рассматриваются электронные свойства неупорядоченных систем

На основании зонной теории рассматриваются наиболее важные для твердотельной электроники электронные процессы при воздействии на кристалл внешних электрического и магнитного полей. Рассматриваются основные идеи описания фазового перехода диэлектрик-металл, формулируется и обосновывается скейлинговая гипотеза. В спецкурсе также рассматривается размерная и спиновая зависимость электронных процессов, а также классические и квантовые размерные эффекты и их влияние на электрические и оптические характеристики ограниченных кристаллов и электронных систем с пониженной размерностью.

Программа курса составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта. Общее количество часов – 136; аудиторное количество часов — 64, из них: лекции — 50, контролируемая самостоятельная работа студентов — 14. Форма отчетности — зачет и экзамен.

ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ п/п	Название темы	Лекции	Контролируемая самостоятельная работа	Всего
1	2	3	4	5
1.	Основы электронной теории твердых тел	12	4	16
2	Электронные процессы во внешнем электрическом поле	8	2	10
3	Электронные процессы во внешнем магнитном поле	10	2	12
4	Размернозависимые электронные процессы	8	2	10
5	Спиновая зависимость электронных процессов	6	2	8
6	Физические основы мезоскопической физики	6	2	8
	Итого	50	14	64

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Основы зонной теории кристаллических твердых тел

1. Исторические этапы развития электронной теории. Классические представления Друде-Лоренца и квантовые Зоммерфельда. Представления о квазичастицах - основной подход к описанию конденсированного состояния вещества. Статистические свойства

электронов. Закон дисперсии для свободных электронов. Плотность разрешенных электронных состояний .

2. Электроны в периодическом поле кристаллической решетки.

Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое и одноэлектронное приближения. Периодичность поля кристаллической решетки. Оператор трансляции и трансляционное свойство волновой функции. Теорема Блоха. Волновая функция для электрона в идеальном кристалле.

3. Основные характеристики электрона в периодическом поле решетки. Квазиимпульс. Эффективная масса. Скорость и ускорение электрона в периодическом поле решетки кристалла. Периодичность энергии электрона в кристалле. Понятие о зонах Бриллюэна. Зоны Бриллюэна для плоской квадратной решетки.

4. Решение уравнения Шредингера для электрона в периодическом поле в приближении слабой связи. Приближение почти связанного электрона. Металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории.

5. Основные теоретические методы расчета и экспериментальные методы определения зонной структуры кристаллических твердых тел.

6. Зонная структура важнейших материалов твердотельной электроники: алмаз, кремний, германий, серое олово. Зонная структура важнейших бинарных и многокомпонентных соединений. Способы управления параметрами зонной структуры твердых тел.

7. Локализованные электронные состояния в кристалле. Мелкие и глубокие примесные состояния в кристалле. Примесная зона. Уровни Тамма и поверхностные состояния в реальных кристаллах.

8. Переходы металл- изолятор. Переходы Андерсона и Мотта. Модели структурного беспорядка Андерсона и Лифшица. Минимальная электрическая проводимость в переходе Мотта.

2. Электронные процессы во внешнем электрическом поле

9. Полупроводниковые кристаллы в электрическом поле. Основные механизмы переноса зарядов в полупроводниках. Диффузионный, прыжковый, баллистический, туннельный. Дырка и ее основные характеристики.

10. Прыжковый механизм переноса заряда. Прыжки на ближайшие локальные центры. Прыжки с переменной длиной прыжка. Законы Мотта и Шкловского-Эфроса. Представление о кулоновской щели в плотности состояний.

11. Эффекты Зинера и Френкеля. Разогрев электронов в электрическом поле. Понятие об электронной температуре. Времена релаксации импульса и энергии. Зависимость кинетических коэффициентов от электрического поля.

12. Ударная ионизация в собственных и легированных полупроводниках. Нелинейные ВАХ полупроводниковых кристаллов в сильном электрическом поле. S и N- образные ВАХ. Электрические домены и токовые шнуры.

13. Функция распределения в сильном электрическом поле. Влияние электрон-электронных столкновений на функцию распределения. Смещенное максвелловское распределение.

3. Электронные процессы во внешнем магнитном поле

14. Движение и энергетический спектр электронов в однородном постоянном магнитном поле.

15. Плотность разрешенных состояний и энергия Ферми в магнитном поле. Представление о классически слабых, сильных и квантующих магнитных полях. Ультраквантовый предел.

16. Кинетические явления при диффузионном механизме переноса заряда в классических магнитных полях. Эффекты Холла, магниторезистивный, Эттинггаузена и Нернста.

17. Кинетические явления в квантующих магнитных полях. Эффекты магнитного вымораживания и магнитного вскипания. Кинетические явления в режиме прыжковой проводимости.

18. Осцилляции кинетических коэффициентов в квантовом пределе. Эффект Шубникова де Гааза, магнитофононный и спинмагнитофононный резонансы.

19. Основные магнитооптические явления и их интерпретация. Электронный диамагнитный и парамагнитный резонансы, межзонное магнитооптическое поглощение.

20. Эффекты Кондо и отрицательного магнитосопротивления на диэлектрической и металлической сторонах перехода диэлектрик-металл..

4. Размерная зависимость электронные процессы

21. Классические и квантовые размерные эффекты в ограниченных кристаллах. Основные характеристические длины. Классические размерные эффекты на длине свободного пробега и длине остывания.

22. Электронные системы пониженной размерности. Квантование энергетического спектра двумерного электронного газа.

23. Плотность разрешенных состояний и энергия Ферми в двумерной электронной системе. 25. Квазиодномерная электронная система и квантовая точка.

Энергетический спектр, плотность состояний и энергия Ферми.

24. Электропроводность и эффект Холла в квазидвумерной электронной системе в квантующем магнитном поле

25. Целочисленный и дробный квантовые эффекты Холла. Спиновый эффект Холла. Применение эффектов размерного квантования в метрологии

26. Оптические и магнитооптические свойства электронных систем пониженной размерности.

5. Спиновая зависимость электронных процессов переноса

27. Магнитные примеси в немагнитных металлах и полупроводниках.

Особенности рассеяния носителей заряда с переворотом спина. Спин-орбитальное взаимодействие и рассеяние на магнитных центрах. Спиновый эффект Холла.

28. Особенности электронных процессов переноса в магнитоупорядоченных средах

6. Физические основы мезоскопической физики

29. Особенности электронных состояний и процессов в слабо разупорядоченных электронных системах на металлической стороне перехода диэлектрик-металл. Представление о слабой электронной локализации и антилокализации.

30. Квантовая интерференция электронных волн при учете электрон-электронного взаимодействия.

31. Основные кинетические явления в режиме слабой локализации. Эффект Холла и знакопеременный магниторезистивный эффект.

32. Обоснование и формулировка скейлинговой гипотезы для трех и двумерных электронных систем. Роль спин-орбитального взаимодействия в скейлинговой теории проводимости. Перспективы развития физики и технологии получения низкоразмерных элементов и структур и их использования в электронной технике

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рекомендуемые формы контроля знаний

1. Тестовые задания
2. Реферативные работы

Рекомендуемые темы тестовых заданий

1. Зонная структура энергетического спектра электронов с точки зрения приближения сильной связи
2. Основные теоретические методы расчета зонной структуры
3. Метод эффективной массы
4. Зонная структура многокомпонентных соединений
5. Представление об электронной температуре
6. Эффекты Нернста и Эттингаузена
7. Спин-зависимое туннелирование и рассеяние

Рекомендуемые темы реферативных работ

1. Сравнительный анализ основных теоретических приближений для расчета зонной структуры.
2. Поверхностные состояния.
3. Нелинейные вольт амперные характеристики.
4. Функция распределения в сильном электрическом поле.
5. Энергетический спектр электронов в сильном магнитном поле
6. Магниторезистивный эффект при разных механизмах переноса заряда.
7. Эффект Холла. От открытия до Нобелевской премии.
8. Эффект Френкеля
9. Основные галваномагнитные явления.
10. Осцилляционные явления в сильном магнитном поле

Рекомендуемая литература

Основная

1. Абрикосов А. А. Основы теории металлов. М., 1987.
2. Киреев П.С. Физика полупроводников. М., 1975.
3. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. М., 1978.
4. Аскеров Б.М. Электронные явления переноса в полупроводниках. М., 1985.
5. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. В 2-х томах. М., 1979.
6. Блатт Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах. М.: Мир, 1971.-470 с.
7. Блейкмор Дж. Физика твердого тела. М.: Мир, 1988. -608 с.

8. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1990. - 688 с.
9. Давыдов А.С. Теория твердого тела. М., 1976.
10. Звягин И.П. Кинетические явления в неупорядоченных полупроводниках. М., 1984.
11. Зеегер К. Физика полупроводников. М.: Мир, 1977.
12. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М., 1978. -791 с.
13. Кравченко А.Ф., Митин В.В., Скок Э.М. Явления переноса в полупроводниковых пленках. Новосибирск: Наука, 1979. -256 с.
14. Кучис Е. В. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования. М.: Радио и связь, 1990. -264 с.
15. Ридли Б. Квантовые процессы в полупроводниках. М.: Мир, 1986.
16. Слэтер Дж. Диэлектрики, полупроводники, металлы. М., 1969.
17. Смит Р. Полупроводники. М., 1982.
18. Фистуль В.И. Введение в физику полупроводников. М., 1984.
19. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М., 1985.
20. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников. М.: Наука. 1979. -416 с.
21. Имри И. Введение в мезоскопическую физику. – М.: Физматлит, 2002. – 304 с.
22. Гантмахер В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах. М.: Физматлит, 2003. – 174 с.
23. Цидильковский И. М. Электроны и дырки в полупроводниках. – М.: Наука, 1972. – 640 с.
24. Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. – 2 – е изд., перераб. и доп. в 2 – х томах. – М.: Мир, 1982. – 664 с.
25. Лукашевич М. Г. Введение в магнитоэлектронику. –Минск, 2004.-68 с.

Дополнительная

- 1.Гроссе П. Свободные электроны в твердых телах. М., 1982.
- 2.Маделунг О. Теория твердого тела. М.: Наука, 1980. -416 с.; Физика твердого тела. Локализованные состояния. М.: Наука, 1985. -184 с.
- 3.Марч Н., Паринелло М. Коллективные эффекты в твердых телах и жидкостях. М., 1986.
- 4.Туннельные явления в твердых телах / Под. ред. Э. Бурштейна и С. Лундквиста. М.: Мир, 1973. -421 с.
- 5.Свирский М.С. Электронная теория вещества. М., 1980.
- 6.Квантовый эффект Холла /Под ред. Р. Прейенджа, С. Гирвина. – М.: Мир, 1989. – 404 с.
- 7.Квантовый эффект Холла: Сб. ст. под ред. Ю. В. Шмарцева. – М.: Мир, 1986. – 232 с.
- 8.Шур М.С. Современные приборы на основе арсенида галлия. М.: Мир, 1991.; Физика полупроводниковых приборов. В 2-х кн. М.: Мир, 1992. -479 с.; 295 с.
- 9.Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки. М.: Мир, 1989. -240 с.
- 14.Молекулярно – лучевая эпитаксия и гетероструктуры / Под ред. Л. Ченга, К. Плога. – М.: Мир, 1989. – 582 с.
- 10.Гантмахер В. Ф. Рассеяние носителей тока в металлах и полупроводниках. – М.: Наука, 1984. – 351 с.
- 11.Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974. -472 с.

12. Анималу А. Квантовая теория кристаллических твердых тел. М.: Мир, 1981.-574 с.
13. Као К., Хуанг В. Перенос электронов в твердых телах. Электрические свойства органических полупроводников. В 2-х частях. М., 1984.
14. Scaling theory of localization – absence of quantum diffusion in 2 dimensions E. Abrahams, P. W. Anderson, D. C. Licciardello, T. V. Ramakrishnan // Phys. Rev. Lett. – 1979. – Vol. 42, № 10. – P. 673 – 679.
15. Lee P. A., Ramakrishnan T. V. Disordered electronic system // Rev. Mod. Phys. – 1985. – Vol. 57, № 2. – P. 287 – 333.
16. Lee P. A., Ramakrishnan T. V. Magnetoresistance of weakly disordered electrons // Phys. Rev. B – 1982.- Vol. 26, № 8. – P.4009 – 4012.
17. Альтшулер Б. Л., Аронов А. Г. К теории неупорядоченных металлов и сильно легированных полупроводников // ЖЭТФ. – 1979. – Т. 30, № 5. – С. 2028 – 2044.
18. Altshuler B. L., Aronov A.G., Lee P.A. Interaction effect in disordered Fermi system // Phys. Rev. Lett. – 1980. – Vol 44, № 19. – P. 1288 – 1291.
19. Altshuler B. L., Aronov A.G. Modern problems in condensed matter science / Ed. A. L. Efros, M. Pollak. Amsterdam. 1985. – P. 1 – 135.
20. Bergman G. Weak localization in thin films // Phys. Rep. – 1984. – Vol.107, № 1. – P 1 – 58.