

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----------|
| Введение | 14 |
| Глава 1. Размерное квантование | 16 |
| § 1.1. Размерное квантование энергии электронов | 16 |
| 1.1.1. Уравнение Шредингера, волновая функция частицы | 16 |
| 1.1.2. Одномерное движение частицы в интервале длиной L | 17 |
| 1.1.3. Бесконечно глубокая потенциальная яма | 18 |
| 1.1.4. Прямоугольная потенциальная яма | 19 |
| § 1.2. Плотность электронных состояний | 22 |
| 1.2.1. Трехмерные электронные системы | 22 |
| 1.2.2. Двумерные электронные системы | 24 |
| 1.2.3. Одномерные электронные системы | 25 |
| 1.2.4. Нульмерные электронные системы | 26 |
| § 1.3. Размерное квантование энергии электрона в тонкой пленке | 27 |
| 1.3.1. Лестница подзон | 27 |
| 1.3.2. Квантовые размерные осцилляции | 29 |
| 1.3.3. Переход металл–диэлектрик при уменьшении размеров кристалла | 30 |
| 1.3.4. Распределение электронов в p -пространстве при размерном квантовании | 32 |
| § 1.4. Модель Кронига–Пенни | 33 |
| Список литературы к главе 1 | 37 |
| Глава 2. Создание двумерных структур. Гетероструктуры | 39 |
| § 2.1. Физическое осаждение из газовой фазы. | 39 |
| 2.1.1. Термическое испарение | 39 |
| 2.1.2. Напыление | 40 |
| § 2.2. Молекулярно-лучевая эпитаксия. | 41 |
| 2.2.1. Установка для молекулярно-лучевой эпитаксии. | 42 |
| 2.2.2. Методы контроля и анализа в молекулярно-лучевой эпитаксии | 45 |
| 2.2.3. Режимы роста | 47 |
| § 2.3. Газофазная эпитаксия. | 48 |
| 2.3.1. Условия роста | 48 |
| 2.3.2. Газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений | 50 |
| 2.3.3. Примеры процессов | 52 |
| § 2.4. Атомно-слоевое осаждение | 53 |
| 2.4.1. Основы метода атомно-слоевой эпитаксии | 54 |
| 2.4.2. Возможности метода атомно-слоевой эпитаксии | 56 |
| 2.4.3. Области применения | 57 |

| | |
|---|------------|
| § 2.5. Жидкофазная эпитаксия | 58 |
| 2.5.1. Пленки Ленгмюра–Блуджетт | 58 |
| 2.5.1. Золь-гель процесс получения пленок | 59 |
| § 2.6. Схема образования двумерных электронов | 61 |
| 2.6.1. Гетерограницы различного типа | 61 |
| 2.6.2. Гетероструктуры | 64 |
| 2.6.3. Гетероструктурные квантовые ямы, морфология | 65 |
| 2.6.4. Типы легирования квантовых ям и гетероструктур | 68 |
| § 2.7. Ван-дер-ваальсовы гетероструктуры | 71 |
| 2.7.1. Двумерные материалы | 71 |
| 2.7.2. Полевой транзистор на основе дихалькогенида переходного металла | 74 |
| 2.7.3. Ван-дер-ваальсовы гетероструктуры | 75 |
| 2.7.4. Планарные гетероструктуры из графена и дихалькогенида переходного металла | 76 |
| 2.7.5. Вертикальные гетероструктуры из графена и дихалькогенида переходного металла | 79 |
| 2.7.6. Вертикальные диодные гетероструктуры из дихалькогенидов переходных металлов без графена | 85 |
| Список литературы к главе 2 | 86 |
| Глава 3. Инверсионные слои, дельта-слои | 90 |
| § 3.1. Инверсионные слои в кремниевых структурах | 90 |
| 3.1.1. История исследования инверсионных слоев | 90 |
| § 3.2. Структура подзон размерного квантования в инверсионном слое кремния и гетеропереходе в арсениде галлия | 92 |
| 3.2.1. Структура подзон размерного квантования в инверсионном слое кремния | 92 |
| 3.2.2. Структура подзон размерного квантования в гетеропереходе в арсениде галлия | 95 |
| § 3.3. Потенциальная энергия электронов в инверсионном слое, приближение треугольного потенциала | 96 |
| 3.3.1. Потенциальная энергия электрона в инверсионном слое | 96 |
| 3.3.2. Решение уравнения Шредингера для треугольной квантовой ямы | 98 |
| Список литературы к главе 3 | 100 |
| Глава 4. Свойства двумерных электронов. Экранирование, плазмоны | 102 |
| § 4.1. Экранирование | 102 |
| 4.1.1. Трехмерный случай | 102 |
| 4.1.2. Идеальный двумерный случай | 104 |
| 4.1.3. Квазидвумерный случай | 105 |
| § 4.2. Плазмоны | 107 |
| 4.2.1. Трехмерный случай | 107 |
| 4.2.2. Плазмоны в двумерных структурах | 109 |
| 4.2.3. Магнетоплазмоны | 110 |
| Список литературы к главе 4 | 113 |

| | |
|--|-----|
| Глава 5. Квантовые осцилляционные эффекты. Квантовые поправки к проводимости. | 114 |
| § 5.1. Квантование, эффект Шубникова–де Гааза. | 114 |
| 5.1.1. Квантование энергетического спектра электронов в магнитном поле | 114 |
| 5.1.2. Плотность электронных состояний в магнитном поле. | 120 |
| 5.1.3. Эффект Шубникова–де Гааза в трехмерных системах | 121 |
| 5.1.4. Экспериментальное определение эффективной массы электронов | 124 |
| 5.1.5. Определение транспортной и квантовой подвижностей в подзонах размерного квантования | 127 |
| 5.1.2. Осцилляции магнетосопротивления в параллельном магнитном поле | 138 |
| 5.1.3. Особенности эффекта Шубникова–де Гааза в двумерных системах | 143 |
| 5.1.4. Особенности амплитуды осцилляций магнетосопротивления в двумерных системах | 146 |
| § 5.2. Расчет энергетического спектра электронов в квантовых ямах. Межподзонное и внутривозонное рассеяние | 148 |
| 5.2.1. Самосогласованный расчет системы уравнений Шредингера и Пуассона | 149 |
| 5.2.2. Учет непараболичности зоны проводимости GaAs | 155 |
| 5.2.3. Расчет подвижности носителей заряда. Межподзонное и внутривозонное рассеяние | 157 |
| 5.2.4. Определение концентраций и подвижностей носителей заряда методом спектра подвижности | 159 |
| 5.2.5. Ограничение подвижности электронов в узких квантовых ямах при рассеянии на латеральных шероховатостях | 162 |
| § 5.3. Квантовые поправки к проводимости. | 164 |
| 5.3.1. Понятие о размерности проводника, характерные масштабы | 165 |
| 5.3.2. Слабая локализация. | 166 |
| 5.3.3. Температурная зависимость проводимости | 167 |
| 5.3.4. Влияние магнитного поля на квантовые поправки к проводимости | 171 |
| Список литературы к главе 5. | 173 |
| Глава 6. Квантовый эффект Холла. | 175 |
| § 6.1. Целочисленный квантовый эффект Холла | 175 |
| 6.1.1. Открытие квантового эффекта Холла | 175 |
| 6.1.2. Соотношение между тензорами проводимости и сопротивления при квантовом эффекте Холла | 176 |
| § 6.2. Распределение тока и потенциала в двумерной системе при квантовом эффекте Холла | 179 |
| 6.2.1. Распределение тока и потенциала. | 179 |
| 6.2.2. Диск Корбино | 180 |
| 6.2.3. Роль краевых состояний в квантовом эффекте Холла. | 181 |
| § 6.3. Метрологические применения квантового эффекта Холла | 183 |
| 6.3.1. Определение величины постоянной тонкой структуры | 183 |
| 6.3.2. Эталон сопротивления | 184 |

| | |
|--|------------|
| § 6.4. Дробный квантовый эффект Холла | 185 |
| 6.4.1. Открытие дробного квантового эффекта Холла | 185 |
| 6.4.2. Причины возникновения дробного квантования | 191 |
| 6.4.3. Композитные квазичастицы | 194 |
| § 6.5. Динамический квантовый эффект Холла, дрейфовый резонанс | 199 |
| Список литературы к главе 6 | 203 |
| Глава 7. Квантовые ямы со вставками | 205 |
| § 7.1. Квантовые ямы с туннельно-прозрачным барьером | 205 |
| 7.1.1. Влияние тонкого барьера в квантовой яме на зонную структуру и волновую функцию электрона | 205 |
| 7.1.2. Рассеяние электронов в квантовых ямах со вставкой на оптических фононах | 207 |
| 7.1.3. Квантовые ямы с многими барьерами | 214 |
| § 7.2. Квантовые ямы с узкими вставками более глубокой ямы | 215 |
| 7.2.1. Влияние вставки одиночной узкой более глубокой квантовой ямы на зонную структуру, волновые функции и подвижности электронов в квантовой яме | 215 |
| Список литературы к главе 7 | 217 |
| Глава 8. Полупроводниковые сверхрешетки | 219 |
| § 8.1. Понятие о сверхрешетках. Энергетический спектр сверхрешеток, минизоны | 219 |
| 8.1.1. Композиционные сверхрешетки типа I и II | 219 |
| 8.1.2. Легированные сверхрешетки | 222 |
| § 8.2. Оптические свойства сверхрешеток | 225 |
| 8.2.1. Внутризонные переходы | 225 |
| 8.2.1. Межзонные переходы | 226 |
| § 8.3. Электропроводность сверхрешеток. Отрицательная дифференциальная проводимость | 227 |
| 8.3.1. Электропроводность композиционных сверхрешеток | 227 |
| 8.3.2. Электропроводность легированных сверхрешеток | 229 |
| § 8.4. Влияние деформаций на энергетический спектр сверхрешеток | 230 |
| 8.4.1. Теория упругости | 230 |
| 8.4.2. Деформации в кубической решетке | 232 |
| 8.4.3. Деформационные потенциалы | 234 |
| 8.4.4. Напряженные квантовые ямы | 236 |
| 8.4.5. Напряженные сверхрешетки при отсутствии внутреннего пьезоэффекта | 236 |
| 8.4.6. Напряженные сверхрешетки при учете внутреннего пьезоэффекта | 237 |
| 8.4.7. Влияние одноосных деформаций на энергетический спектр сверхрешеток | 238 |
| Список литературы к главе 8 | 241 |
| Глава 9. Квантовые одномерные структуры | 242 |
| § 9.1. Методы формирования квантовых одномерных структур | 242 |
| 9.1.1. Расщепленный затвор | 242 |
| 9.1.2. Использование вихриальных поверхностей | 243 |

| | |
|--|------------|
| 9.1.3. Использование сегрегации олова на вичинальных границах GaAs | 244 |
| 9.1.4. Рост на профилированной поверхности | 247 |
| 9.1.5. Спонтанный рост через испарение или диссоциацию с последующей конденсацией | 249 |
| 9.1.6. Рекристаллизация под давлением | 252 |
| 9.1.7. Рост нанокристалла из пара (или раствора) через жидкую фазу с катализатором | 252 |
| 9.1.8. Использование матриц для роста | 254 |
| 9.1.9. Электрохимическое осаждение | 254 |
| 9.1.10. Электрофорез | 254 |
| 9.1.11. Изменение состава наностержней с помощью химических реакций | 255 |
| 9.1.12. Рост в постоянном электрическом поле — электроспиннинг | 256 |
| 9.1.13. Нанолитография | 256 |
| 9.1.14. Молекулярно-лучевая эпитаксия | 258 |
| § 9.2. Квантование энергии в узких двумерных проводниках при отсутствии магнитного поля. Поперечные моды | 260 |
| § 9.3. Квантование энергии электронов в узких двумерных проводниках в магнитном поле | 262 |
| 9.3.1. Скорость и координата электрона в одномерном проводнике | 263 |
| § 9.4. Баллистический транспорт, сопротивление баллистического проводника | 264 |
| § 9.5. Новые физические свойства квантовых одномерных проводников | 267 |
| Список литературы к главе 9 | 269 |
| Глава 10. Квантовые точки | 271 |
| § 10.1. Методы получения нанокристаллов | 271 |
| 10.1.1. Квантовые точки | 271 |
| 10.1.2. Синтез изолированных наночастиц | 271 |
| 10.1.3. Коллоидные квантовые точки | 275 |
| § 10.2. Массивы квантовых точек на подложке | 276 |
| 10.2.1. Нанолитография | 276 |
| 10.2.2. Эпитаксиальный рост квантовых точек с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии и газофазной эпитаксии | 277 |
| 10.2.3. Упорядоченная ориентация квантовых точек на подложке | 280 |
| 10.2.4. Упругие напряжения в квантовых точках на подложках | 285 |
| § 10.3. Квантовые точки — искусственные атомы. Особенности квантования энергетического спектра электронов в квантовых точках | 286 |
| 10.3.1. Размерное квантование в квантовой точке | 286 |
| 10.3.2. Туннелирование электронов через квантовую точку. Кулоновская блокада | 291 |
| § 10.4. Оптические свойства квантовых точек | 297 |
| § 10.5. Осцилляции Вейса в планарных слоях квантовых точек | 299 |
| § 10.6. Практические применения квантовых точек | 301 |
| Список литературы к главе 10 | 307 |

| | |
|--|-----|
| Глава 11. Экситоны | 309 |
| § 11.1. Экситоны Френкеля и Ванье–Мотта | 309 |
| 11.1.1. Экситоны Френкеля | 309 |
| 11.1.2. Экситоны Ванье–Мотта | 311 |
| 11.1.3. Прямые экситоны | 312 |
| 11.1.4. Непрямые экситоны | 314 |
| § 11.2. Экситоны в двумерных и одномерных системах. | 315 |
| 11.2.1. Экситоны в 2D-структурах | 316 |
| 11.2.2. Экситоны в 1D-структурах | 319 |
| Список литературы к главе 11 | 321 |
| Глава 12. Разбавленные магнитные полупроводники на основе квантово-размерных гетероструктур и наноструктур. Спинтроника | 322 |
| § 12.1. Магнитные примеси в полупроводниках | 322 |
| 12.1.1. Разбавленные магнитные полупроводники | 322 |
| 12.1.2. Спиновое стекло | 324 |
| 12.1.3. Ферромагнетизм | 327 |
| § 12.2. Аномальный эффект Холла | 332 |
| 12.2.1. Аномальный эффект Холла | 332 |
| 12.2.2. Фаза Берри | 334 |
| 12.2.3. Асимметричное рассеяние | 337 |
| 12.2.4. Боковое смещение | 339 |
| 12.2.5. Соотношение разных механизмов аномального эффекта Холла | 340 |
| § 12.3. Разбавленные магнитные полупроводники на основе квантово-размерных гетероструктур и наноструктур. | 341 |
| 12.3.1. Ферромагнетизм в разбавленных магнитных полупроводниках p -типа $\text{Ga}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$, $\text{In}_{1-x}\text{Mn}_x\text{As}$. Управление электрическим полем | 341 |
| § 12.4. Применение разбавленных магнитных полупроводников. Спинтроника | 344 |
| 12.4.1. Гигантское магнетосопротивление | 344 |
| 12.4.2. Полуметаллические ферромагнетики | 349 |
| Список литературы к главе 12 | 351 |
| Глава 13. Спиновый эффект Холла. Двумерные топологические изоляторы | 353 |
| § 13.1. Спиновый эффект Холла | 353 |
| 13.1.1. Природа спинового эффекта Холла | 353 |
| 13.1.2. Механизмы возникновения спинового эффекта Холла | 355 |
| 13.1.3. Экспериментальное наблюдение спинового эффекта Холла | 357 |
| § 13.2. Квантовый спиновый эффект Холла | 363 |
| 13.2.1. 2D топологические изоляторы | 363 |
| 13.2.2. Число Черна | 365 |
| 13.2.3. Квантовый спиновый эффект Холла | 366 |
| 13.2.4. Z_2 топологический инвариант в 2D-системах | 367 |

| | |
|--|------------|
| § 13.3. Двумерные топологические изоляторы | 369 |
| 13.3.1. Краевые состояния в двумерных системах | 369 |
| 13.3.2. Основные свойства квантовых ям (Hg, Cd)Te | 373 |
| 13.3.3. Квантовый спиновый эффект Холла в (Hg, Cd)Te | 375 |
| Список литературы к главе 13 | 377 |
| Глава 14. Кристаллические решетки. Симметрия. Квазикристаллы | 379 |
| § 14.1. Кристаллические решетки Браве | 379 |
| 14.1.1. Основные понятия, элементы симметрии | 379 |
| 14.1.2. 2D кристаллические решетки и их симметрия | 382 |
| 14.1.3. Двумерные точечные группы и пространственные группы | 384 |
| § 14.2. Трехмерные решетки Браве | 386 |
| 14.2.1. Элементарные ячейки трехмерных решеток Браве | 386 |
| 14.2.2. Ячейка Вигнера–Зейтца | 387 |
| § 14.3. Квазикристаллы | 388 |
| 14.3.1. Открытие квазикристаллов | 388 |
| 14.3.2. Структура решетки квазикристаллов | 390 |
| § 14.4. Электрофизические свойства квазикристаллов | 395 |
| 14.4.1. Структура решетки квазикристаллов | 395 |
| 14.4.2. Электронный транспорт | 397 |
| 14.4.3. Сверхпроводимость | 398 |
| 14.4.4. Магнетизм | 399 |
| 14.4.5. Теплопроводность | 400 |
| 14.4.6. Механические свойства | 401 |
| Список литературы к главе 14 | 402 |
| Глава 15. Графен | 404 |
| § 15.1. Структура графена | 404 |
| § 15.2. Энергетический спектр графена | 407 |
| 15.2.1. Энергетический спектр графена | 407 |
| 15.2.2. Экспериментальное подтверждение линейности энергетического спектра | 411 |
| 15.2.3. Эффективная масса | 412 |
| 15.2.4. Плотность состояний | 413 |
| § 15.3. Хиральность и парадокс Клейна, проводимость графена | 414 |
| 15.3.1. Области с различным типом проводимости в графене | 414 |
| 15.3.2. Проводимость, локализация носителей заряда | 416 |
| § 15.4. Квантовый эффект Холла в графене | 419 |
| § 15.5. Двойной графеновый слой | 421 |
| 15.5.1. Квантовый эффект Холла в двойном графеновом слое | 421 |
| 15.5.2. Два графеновых слоя, разделенные диэлектриком | 424 |
| § 15.6. Графан | 429 |
| Список литературы к главе 15 | 430 |
| Глава 16. Интеркалированные соединения графита | 432 |
| § 16.1. Графит | 432 |
| 16.1.1. История графита | 432 |
| 16.1.2. Структура и энергетический спектр графита | 433 |

| | |
|--|------------|
| § 16.2. Интеркалированные соединения графита | 437 |
| 16.2.1. Синтез интеркалированных соединений графита | 437 |
| 16.2.2. Энергетический спектр ИСГ первой и второй ступеней | 440 |
| 16.2.3. Энергетический спектр ИСГ третьей ступени | 441 |
| § 16.3. Одномерные сверхрешетки интеркалированного графита низких ступеней. | 443 |
| § 16.4. Двумерные сверхрешетки в интеркалированных соединениях графита | 447 |
| § 16.5. Суперметаллическая проводимость интеркалированных соединений графита акцепторного типа | 449 |
| § 16.6. Фазовые переходы типа двумерного плавления и «порядок–беспорядок». | 450 |
| § 16.7. Магнетосопротивление двумерных и квазидвумерных систем в слабых магнитных полях | 452 |
| 16.7.1. Зависимость магнетосопротивления в слабых магнитных полях от направления магнитного поля В относительно слоев | 452 |
| 16.7.2. Двумерный случай | 453 |
| 16.7.3. Квазидвумерный случай | 454 |
| § 16.8. Сверхпроводимость соединений внедрения в графит | 456 |
| Список литературы к главе 16 | 460 |
| Глава 17. Фуллерены, фуллериты и фуллериды | 462 |
| § 17.1. Фуллерены | 462 |
| 17.1.1. Молекула фуллерена | 462 |
| 17.1.2. Синтез фуллеренов | 464 |
| 17.1.3. Фуллерит | 466 |
| § 17.2. Фуллерид. Структура фуллеридов. Гетерофуллериды | 467 |
| 17.2.1. Газофазный метод синтеза | 468 |
| 17.2.2. Синтез из амальгам | 468 |
| 17.2.3. Синтез из галлам | 469 |
| 17.2.4. Синтез в среде органического растворителя | 469 |
| 17.2.5. Синтез с аммонийными основаниями в среде органического растворителя | 470 |
| 17.2.6. Структура фуллеридов. | 471 |
| § 17.3. Электронные свойства и сверхпроводимость фуллеридов | 474 |
| 17.3.1. Электронная структура фуллерена | 474 |
| 17.3.2. Электронные свойства фуллеридов | 476 |
| 17.3.3. Сверхпроводимость гетерофуллеридов | 480 |
| 17.3.4. Проявление металлических свойств аммония в сверхпроводимости фуллеридов. | 483 |
| 17.3.5. Сверхпроводящие свойства фуллеридов с тетраалкиламмониевыми основаниями | 485 |
| 17.3.6. Параметры сверхпроводящих фуллеридов, критические магнитные поля | 485 |
| § 17.4. Комбинационное рассеяние света, электронный парамагнитный резонанс и магнитные свойства фуллеридов | 488 |
| 17.4.1. Комбинационное рассеяние света | 488 |
| 17.4.2. Электронный парамагнитный резонанс | 494 |

| | |
|---|------------|
| § 17.5. Эндоэдральные фуллерены | 496 |
| § 17.6. Функционализация фуллеренов | 499 |
| 17.6.1. Реакционная способность C_{60} | 500 |
| Список литературы к главе 17 | 502 |
| Глава 18. Углеродные и полупроводниковые нанотрубки | 504 |
| § 18.1. Углеродные нанотрубки | 504 |
| 18.1.1. Классификация нанотрубок, хиральность | 504 |
| § 18.2. Зона Бриллюэна, зонная структура | 508 |
| 18.2.1. Зона Бриллюэна | 508 |
| 18.2.2. Зонная структура одностенных углеродных нанотрубок | 510 |
| 18.2.3. Зонная структура одностенной углеродной трубки типа кресло | 511 |
| 18.2.4. Зонная структура одностенной углеродной трубки типа зигзаг | 513 |
| § 18.3. Плотность состояний | 515 |
| 18.3.1. Плотность состояний зигзагообразной нанотрубки | 516 |
| 18.3.2. Плотность состояний креслообразной нанотрубки | 518 |
| 18.3.3. Плотность состояний хиральной нанотрубки | 519 |
| 18.3.4. Эффективная масса носителей заряда | 520 |
| § 18.4. Получение углеродных нанотрубок | 521 |
| 18.4.1. Электродуговой метод | 521 |
| 18.4.2. Метод лазерного испарения | 522 |
| 18.4.3. Метод химического осаждения из газовой фазы | 522 |
| § 18.5. Неуглеродные нанотрубки | 525 |
| 18.5.1. Полупроводниковые нанотрубки | 525 |
| 18.5.2. Нанотрубки из нитрида бора | 527 |
| § 18.6. Упругие свойства нанотрубок | 528 |
| § 18.7. Электрические свойства | 530 |
| 18.7.1. Эмиссионные свойства | 530 |
| 18.7.2. Механические колебания углеродной нанотрубки в переменном электрическом поле и их влияние на эмиссионные характеристики. Демодуляция высокочастотного сигнала | 534 |
| 18.7.3. Катоды для дисплеев и рентгеновских трубок | 537 |
| 18.7.4. Сверхпроводимость | 538 |
| 18.7.5. Электронные приборы | 542 |
| 18.7.6. Квантовые флуктуации проводимости, эффект Ааронова–Бома | 545 |
| § 18.8. Химическая модификация | 546 |
| 18.8.1. Способы модификации нанотрубок | 546 |
| 18.8.2. Возможные применения нанотрубок | 549 |
| Список литературы к главе 18 | 550 |
| Глава 19. Сканирующая зондовая микроскопия | 552 |
| § 19.1. Сканирующая зондовая микроскопия | 552 |
| 19.1.1. Сканирующая туннельная микроскопия | 552 |
| 19.1.2. Контактная атомно-силовая микроскопия | 555 |

| | |
|---|------------|
| 19.1.3. Принцип работы контактной силовой микроскопии пьезоотклика | 557 |
| 19.1.4. Прыжковая атомно-силовая микроскопия | 558 |
| § 19.2. Сканирующая ближнеполюсная оптическая микроскопия | 563 |
| Список литературы к главе 19 | 568 |
| Глава 20. Мезоскопическая физика. Флуктуации в сверхпроводящих наноструктурах | 570 |
| § 20.1. Мезоскопическая физика | 570 |
| 20.1.1. Мезоскопическая флуктуация | 570 |
| 20.1.2. Самоусреднение | 571 |
| 20.1.3. Отрицательное магнетосопротивление | 572 |
| § 20.2. Эффект Ааронова–Бома | 573 |
| 20.2.1. Осцилляции кондактанса в кольце | 573 |
| 20.2.2. Осцилляции кондактанса в цилиндре | 575 |
| § 20.3. Флуктуации магнетосопротивления и тока | 576 |
| § 20.4. Квантовый эффект Холла | 578 |
| § 20.5. Мезоскопическая физика сверхпроводников | 578 |
| 20.5.1. Квантовая нелокальность в сверхпроводящих наноструктурах | 579 |
| 20.5.2. Тепловые и квантовые флуктуации в квазиодномерных сверхпроводящих каналах | 587 |
| 20.5.3. Кулоновская блокада в сверхтонких сверхпроводящих наноструктурах. Квантовый эталон тока | 598 |
| Список литературы к главе 20 | 610 |
| Глава 21. Топологические изоляторы | 612 |
| § 21.1. Топологические изоляторы. | 612 |
| 21.1.1. Что такое топологический изолятор. | 612 |
| 21.1.2. Поляризация | 615 |
| 21.1.3. Топологические изоляторы Bi_2Se_3 , Bi_2Te_3 , Sb_2Te_3 | 617 |
| 21.1.4. Легирование магнитной примесью | 619 |
| § 21.2. Топологические кристаллические изоляторы | 622 |
| § 21.3. Вейлевские полуметаллы. | 625 |
| 21.3.1. Объемные свойства вейлевских полуметаллов. | 625 |
| 21.3.2. Поверхностные состояния | 627 |
| 21.3.3. Вейлевский полуметалл арсенид тантала | 629 |
| § 21.4. 3D топологические изоляторы, сплавы $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ | 631 |
| 21.4.1. Энергетический спектр поверхностных состояний в полупроводниках типа Bi, $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ | 631 |
| 21.4.2. Граничное условие для анизотропного уравнения Дирака в ограниченном пространстве | 634 |
| 21.4.3. Материалы $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ | 636 |
| Список литературы к главе 21 | 639 |
| Глава 22. Термоэлектрические явления в наноструктурах | 641 |
| § 22.1. Термоэлектрические явления, термоэлектрическая эффективность | 641 |
| 22.1.1. Эффект Зеебека, эффект Пельтье и эффект Томсона | 641 |
| 22.1.2. Термоэлементы | 644 |
| 22.1.3. Примесные зоны в полупроводниках Bi_2Te_3 и PbTe и их влияние на термоэлектрические свойства | 645 |

| | |
|--|------------|
| § 22.2. Термоэлектрические свойства наноструктур | 647 |
| 22.2.1. Сверхрешетки | 647 |
| 22.2.2. Сегментация термоэлемента | 648 |
| 22.2.3. Особенности наноструктур | 648 |
| 22.2.4. 3D-структуры | 650 |
| 22.2.5. 2D-структуры | 651 |
| 22.2.6. 1D-структуры | 653 |
| 22.2.7. 1D-термоэлектрик Bi_2Te_3 | 654 |
| 22.2.8. Наноструктурированные поликристаллические материалы | 656 |
| § 22.3. Нанокompозиты | 657 |
| 22.3.1. Нанокompозиты с $ZT > 1$ | 657 |
| 22.3.2. Решеточная теплопроводность | 658 |
| § 22.4. Спиновые эффекты Зеебека и Пельтье. Калоритроника | 661 |
| 22.4.1. Введение | 661 |
| 22.4.2. Природа спинового эффекта Зеебека | 662 |
| 22.4.3. Прямой и инверсный спиновые эффекты Холла, спиновый угол Холла | 664 |
| 22.4.4. Взаимосвязь спинового эффекта Зеебека и инверсионного спинового эффекта Холла | 665 |
| 22.4.5. Тепловой спиновый транспорт, длина спиновой диффузии | 669 |
| 22.4.6. Термоэлектрические модули на основе спинового эффекта Зеебека | 674 |
| 22.4.7. Магنونная термоЭДС | 674 |
| 22.4.8. Спиновый эффект Пельтье. Калоритроника | 677 |
| Список литературы к главе 22 | 678 |
| Глава 23. Квазидвумерные и квазиодномерные электронные системы | 680 |
| § 23.1. Волны зарядовой плотности. Переход Пайерлса | 680 |
| 23.1.1. Переход Пайерлса | 680 |
| 23.1.2. Соизмеримые и несоизмеримые сверхрешетки | 681 |
| § 23.2. Квазидвумерные диалькогениды переходных металлов | 682 |
| § 23.3. Двумерные свойства слоистых полупроводников A^3B^6 | 684 |
| § 23.4. Слоистые полупроводники A_2^5B_3^6 . Аналог квантового эффекта Холла | 685 |
| § 23.5. Квазиодномерные электронные системы | 690 |
| Список литературы к главе 23 | 694 |
| Список сокращений | 695 |
| Предметный указатель | 697 |