развитие сверхвысокопроизводительных компьютеров прежде всего за счет создания сверхбыстрых процессоров и переключателей.

Читатели, интересующиеся проблемами создания оптического компьютера, электроники и оптоэлектроники, нелинейной оптики, несомненно найдут для себя много полезного в этой хорошо написанной и прекрасно иллюстрированной книге.

В.С. Днепровский

538.945(049.3)

ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

High Temperature Superconductivity/Ed. J.W. Lynn. — New York a.o.: Springer-Verlag, 1990. — 403 p. — (Graduate Text in Contemporary Physics).

За несколько лет изучения высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) опубликовано очень много экспериментальных и теоретических работ. И хотя решение большинства проблем (в том числе и основных, касающихся механизма сверхпроводимости в ВТСП) еще не достигнуто, безусловно имеется необходимость в появлении подробных обзоров и монографий, описывающих известные к настоящему времени свойства данных соединений и современные теоретические подходы к описанию этих свойств. Книга "Высокотемпературная сверхпроводимость" представляет собой коллективную монографию такого типа. По характеру это, в основном, введение в предмет. Книга адресована широкому кругу читателей, в том числе аспирантам и студентам старших курсов, знакомящимся с физикой высокотемпературных сверхпроводников.

Первые три из десяти глав книги носят вводный характер. Первая глава (J.W. Lynn) знакомит вкратце с основными свойствами сверхпроводников (отсутствие сопротивления постоянному току, идеальный диамагнетизм), а также с основными исходными предположениями и результатами теории БКШ в простейшем изложении. Вводится понятие сверхпроводников второго рода, упоминается о существовании магнитных сверхпроводников с тяжелыми фермионами. Вторая глава (D. Belitz) посвящена основным положениям теории сверхпроводников второго рода. Приведены уравнения Гинзбурга—Ландау, формулы для H_{c2}, H_{c3} и выражение для H_{c1}. Изложен известный микроскопический подход к нахождению температуры перехода и верхнего критического поля, исходя из нахождения полюса парной функции Грина, отвечающего неустойчивости основного состояния нормальной ферми-жидкости по отношению к образованию куперовских пар. Кратко обсуждается влияние примесей на температуру перехода (теорема Андерсона) и теория грязных сверхпроводников. В конце главы затронут вопрос об области сильного беспорядка, когда обычная теория грязных сверхпроводников становится неприменимой и существенны эффекты типа Альтшулера—Аронова.

В третьей главе (R.A. Ferrell) рассмотрен эффект Джозефсона. Сначала кратко изложено феноменологическое описание стационарного и зависящего

© Ю.С. Бараш 1991

от времени эффектов Джозефсона, обсуждено влияние собственного поля джозефсоновского тока. Затем для описания эффекта Джозефсона применяется микроскопический подход, основанный на использовании туннельного гамильтониана и теории БКШ. Обсуждается энергия джозефсоновской связи и квантовые флуктуационные эффекты, вытекающие из некоммутативности операторов фазы и числа куперовских пар.

Начиная с четвертой главы, изложение посвящено, в основном, конкретным свойствам высокотемпературных сверхпроводников. В четвертой главе (A. Santoro) описывается симметрия и строение кристаллов основных представителей ВТСП. Поясняются преимущества метода дифракции нейтронов по сравнению с методом рассеяния рентгеновских лучей для определения структуры кристаллов. Описан метод Ритвельда, позволяющий провести весьма эффективный теоретический анализ экспериментальных данных по дифракции нейтронов на поликристаллах и порошках. Приведена сначала простейшая структура перовскита $CaTiO_3$ (точнее, идеализированного перовскита кубической группы $Pm3m$) — представителя большого числа соединений с общей формулой ABX_3. Показано октаэдронное окружение атомов типа A. Затем рассмотрена структура кристаллов $BaPb_{1-x}Bi_xO_3$, в зависимости от x. В этом соединении критическая температура имеет максимум $T_c \approx 13$ K при $x \approx 0{,}25$, а для $x > 0{,}35$ данное вещество при низких температурах является полупроводником. Обсуждаются валентные состояния ионов в кристалле. Этот круг вопросов в особенности подробно рассмотрен далее для $La_{2-x}M_xCuO_{4-y}$ (M = Ba, Sr) и $Ba_2MCu_3O_\delta$ (M = Y, Gd, Eu и т.д.), а также для $Ba_{2-x}La_{1-x}Cu_3O_\delta$ и $Bi_2CaSr_2Cu_2O_\delta$.

В пятой главе под названием "Электронная структура, динамика решетки и магнитные взаимодействия" (Ching-ping S. Wang) основное внимание уделено результатам зонных расчетов свойств нормальной фазы соединений $La_{2-x}(Ba, Sr)_xCuO_4$, $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, а. также висмутовых и таллиевых соединений. Исходя из имеющихся расчетов энергетических зон, обсуждаются влияние допирования атомами Sr или Ba, приближенный нестинг ферми-поверхности, влияние вакансий кислорода и переход из тетрагональной фазы в орторомбическую в $La_{2-x}(Ba, Sr)_xCuO_4$. Затем соответствующее обсуждение дано для других указанных выше соединений. Рассмотрена зависимость критической температуры от числа слоев $Cu-O_2$ в висмутовых и таллиевых сверхпроводниках, роль металлических несверхпроводящих слоев в промежутках между слоями $Cu-O_2$. Отдельно (хотя и кратко) обсуждаются электрон-фононное взаимодействие, коэффициент Холла, плазменные частоты, зонная структура антиферромагнитных Sc_2CuO_4 и La_2CuO_4, фотоэмиссионные спектры, магнитные взаимодействия.

В шестой главе (R.N. Shelton) рассмотрены техника синтезирования и основные свойства высокотемпературных сверхпроводников в магнитном поле (эффект Мейсснера, верхнее и нижнее критические поля, конкуренция магнитного и сверхпроводящего упорядочения). Даны также результаты рези-

ставных измерений для сверхпроводящих переходов и некоторые сведения о плотности критического тока. ВТСП относятся к сверхпроводникам с очень большим значением параметра Гинзбурга—Ландау. Для них характерны весьма малые нижние критические поля ($H_{c1}(0) \lesssim 10$ мТл) и исключительно большие верхние критические поля ($H_{c2}(0) \gtrsim 50$ Тл).

В седьмой главе (J.E. Crow, Nai-Phuan Ong) дано подробное обсуждение температурных зависимостей эффекта Холла, анизотропной проводимости и теплоемкости соединений ВТСП.

Рассмотрена зависимость коэффициента Холла от концентрации вакансий кислорода и от температуры. Зависимость теплоемкости от температуры описана как для нормальной, так и для сверхпроводящей фаз. Рассмотрено изменение теплоемкости и флуктуационный вклад в теплоемкость при сверхпроводящем переходе как для обычных сверхпроводников, так и для ВТСП. Приведены данные об изотопическом эффекте в ВТСП. Подробно обсуждается вопрос о плотности состояний фононов в ВТСП и использовании уравнений Элиашберга для описания свойств ВТСП.

Восьмая глава (J.W. Lynn) посвящена магнитным свойствам ВТСП. Магнитные свойства соединений $La_{2-x}Sr_xCuO_{4-\delta}$ и $RBa_2Cu_3O_{6+x}$ (R — редкоземельный атом) определяются, в основном, поведением ионов меди, которые имеют нескомпенсированный спин. Магнетизм редкоземельных атомов здесь обычно проявляется лишь при весьма низких температурах. Рассмотрена фазовая диаграмма $La_{2-x}Sr_xCuO_{4-\delta}$ в зависимости от T и x при предположении, что значение δ таково, что для $x = 0$ соединение представляет собой антиферромагнитный диэлектрик с максимально большой температурой Нееля ($T_N \sim 300$ K). Описаны области, отвечающие тетрагональному и орторомбическому кристаллам. Для орторомбической фазы схематически отмечена граница перехода металл—диэлектрик, указаны области существования сверхпроводящей и антиферромагнитной фаз, а также спинового стекла. Конкретное антиферромагнитное упорядочение спинов атомов меди описано на основе данных по магнитному рассеянию нейтронов, а также прецессии мюонного спина.

Для фазовой диаграммы $RBa_2Cu_3O_{6+x}$ в зависимости от T и x характерно наличие в тетрагональной кристаллической фазе двух магнитных фазовых переходов (помимо магнитного упорядочения спинов редкоземельных атомов при низких температурах).

Сначала ($T_{N1} \sim 400 - 500$ K) при понижении температуры происходит так называемый высокотемпературный переход, при котором в антиферромагнитном упорядочении участвуют лишь слои $Cu–O_2$. При этом в слоях, содержащих цепочки атомов меди, спины остаются неупорядоченными. При более низких температурах ($T_{N2} \sim 40 - 80$ K; температуры T_{N1} и T_{N2} зависят, в частности, от значения x) возникает новая антиферромагнитная фаза, когда уже все медно-оксидные слои (с цепочками атомов меди и без цепочек) в равной степени участвуют в антиферромагнитном упорядочении. Далее приведены данные (полученные из экспериментов по рассеянию нейтронов и рамановскому рассеянию) о спектре спиновых возбуждений, магнитных флук-

туаций в парамагнитной и сверхпроводящей фазах ВТСП. Роль магнитных флуктуаций в образовании куперовских пар и в формировании необычных свойств ВТСП пока не ясна. В конце восьмой главы дано описание низкотемпературного упорядочения магнитных моментов редкоземельных атомов в $RBa_2Cu_3O_{6+x}$.

В девятой главе (P.B, Alien) изложены основы теоретического описания состояния сверхпроводящих электронов. Рассмотрено образование куперовских пар, явление бозе-конденсации. Кратко изложена теория БКШ, обсуждается теория Элиашберга. Рассмотрена возможная роль экситонов, плазмонов и спиновых флуктуаций в образовании куперовских пар. В заключение обсуждаются теории биполяронной сверхпроводимости и резонансных валентных связей. В последней, десятой главе (F.D. Bedard) дано описание основных сверхпроводящих электронных устройств — криотрон, джозефсоновские переходы, магнитометр на сквидах и т.д.

Книга содержит большое количество данных, полученных в последние годы для соединений ВТСП, а также обширные списки цитированной литературы, доведенные до начала 1989 г. Схематический, конспективный характер изложения современных теоретических подходов к описанию свойств ВТСП можно было бы отнести к недостаткам книги, если бы не неопределенное состояние многих теоретических положений в рассматриваемой области на данный момент. Эта книга несомненно будет полезна как студентам и аспирантам, знакомящимся с физикой ВТСП, так и специалистам в области физики конденсированных сред.

Ю.С. Бараш