537.311.33(049.3)

ПРОБЛЕМЫ ЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОННОГО (ПОЛЯРОННОГО) ПЕРЕНОСА В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Klinger M. I. Problems of Linear Electron (Polaron) Transport Theory in Semiconductors.— Oxford; New York: Pergamon Press, 1979.— 934 p.— (International Series in Natural Philosophy. V. 87).

Автор рецензируемой книги — один из ведущих исследователей по теории полупроводников и кинетических явлений в твердых телах. Его книга, изданная в качестве 87-го тома известной международной серии по «натуральной философии», пред-

ставляет собой оригинальную монографию, в которой подводится итог развития за последние 15—20 лет теории реальных носителей тока (поляронов,— в обобщенном смысле этого термина) и их кинетики в полупроводниках. Автор работает в этой области теории твердого тела и внес в нее существенный вклад. В 60—70-е годы были выдвинуты новые идеи в общей теории диссипативных систем и новые подходы в теории линейного отклика таких систем на действие внешних полей, а также выполнены исследования новых типов носителей тока и их кинетики в твердых телах. Такое развитие общей теории диссипативных систем привело к появлению плодотворных идей в физической кинетике полупроводников (поляронная кинетика, перенос с малой подвижностью, электронный перенос в сильном магнитном поле, а также в неупорядоченных и магнитных полупроводниках) и атомной кинетике в твердых телах (квантовая диффузия и т. п.). В рецензируемой монографии сделана, по-видимому, первая в мировой литературе попытка суммировать и критически проанализировать развитие этих актуальных областей теории твердого тела. Представляется, что эта попытка оказалась не только оригинальной, но и удачной.

Основное внимание в монографии уделено рассмотрению новых фундаментальных аспектов теории и физической природы рассматриваемых процессов переноса. Анализируются, прежде всего, «одночастичные» аспекты теории; что касается многочастичных ее проблем (модель Хаббарда, переходы Мотта и др.), то они обсуждаются кратко (в гл. II и VIII). Книга состоит из восьми глав (и четырех приложений).

В гл. I изложен материал, служащий основой дальнейшего анализа, представленного в монографии. В ней изложены общие соотношения квантовой статистической механики (матрица плотности, средние квантовостатистические величины и т. п.) и феноменологические соотношения теории линейного переноса. Выводятся формулы Кубо для кинетических коэффициентов и различные их модификации, на основе которых анализируются рассмотренные в книге явления переноса в полупроводниках.

Гл. II носит обзорный характер; в ней излагаются необходимые для дальнейшего результаты стандартной теории элементарных возбуждений кристаллического полупроводника (фононы, электроны и дырки и др.) и их термодинамических свойств.

В гл. III содержится интересный критический анализ общей проблемы реальных носителей тока (поляронов), их спектра и рассеяния в кристаллическом полупроводнике. Обсуждаются особенности электрон-фононного взаимодействия, теория поляронов слабой связи, континуальных поляронов сильной связи Пекара — Фейнмана, а также качественные черты и соотношения различных типов поляронов в одно-, двух- и трехмерных системах (влияние размерности системы и типа электрон-фононной связи).

Гл. IV посвящена теории линейного поляронного переноса в широких зонах. Рассмотрение кинетического уравнения и его следствий (кинетических коэффициентов) дано с учетом упомянутых выше общих новых идей и формул Кубо (в отличие от стандартных изложений этой теории). На основе формул Кубо дан интересный анализ поляронной кинетики в сильном магнитном поле.

Гл. V—VIII являются ключевыми в монографии и посвящены рассмотрению различных типов небольцмановского переноса с малой подвижностью, описание которых не основано на обычном кинетическом уравнении. Эти главы содержат большое число новых интересных идей и результатов.

Гл. V—VI содержат обсуждение основных идей и результатов теории поляронов малого радиуса и их кинетики в кристалле и существенным образом основаны на работах автора книги. В гл. V рассмотрены особенности спектра и затухания малого полярона как своеобразной квазичастицы в кристалле — нелокализованной при низких и «локализованной» при высоких температурах. Представлена оригинальная методика вывода и анализ основных формул кинетических коэффициентов малого полярона, а также критериев их адекватности, которые существенно отличаются от стандартных в зонной теории. В гл. VI подробно рассмотрены различные конкретные явления переноса малых поляронов (малая подвижность, гальваномагнитные, термоэлектрические и высокочастотные явления, эффекты в сильных электрических полях). Значительное место уделено обсуждению новых типов переноса, термически активированных перескоков и когерентно-туннельного переноса при сильном рассеянии. В этой же главе дан обзор нового раздела кинетики твердого тела — атомной квантовой диффузии.

В гл. VII и VIII рассмотрены особенности поведения носителей тока в неупорядоченных системах — роль неупорядоченности («случайное» потенциальное поле), структура одночастичной спектральной плотности и т. п. Основное внимание уделено фундаментальному явлению локализации Андерсона — Мотта для носителей тока, его теории и вытекающих из него следствий для кинетики (края и щель для подвижности и др.). Подробно рассмотрены поляронная кинетика в полосе локализованных состояний и определяющие ее термически-активированные перескоки, а также роль явления протекания в подобной кинетике. В этой же главе рассмотрена электронная кинетика в полосе нелокализованных состояний при сильном рассеянии, а также влияние спиновых и зарядовых флуктуаций на проводимость некоторых систем с электрон-электронной корреляцией.

В целом книга представляет значительный интерес для исследователей в области теории кинетических явлений в твердых телах как по оригинальности идей и результатов и новизне обсуждающихся проблем, так и по нестандартности изложения. Большим достоинством монографии является ее физичность.

Д. Н. Зубарев