

БИБЛИОГРАФИЯ

537.311.33(049.3)

КУРС ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. *Физика полупроводников* о в. — М.: Наука, Гл. ред. физ.-матем. лит-ры, 1977. — 672 с.

У нас и за рубежом издано довольно много книг по теории твердого тела и, в частности, по теории полупроводников. В то же время книг, посвященных тому, что уместно назвать общим курсом физики полупроводников, очень мало. Книга В. Л. Бонч-Бруевича и С. Г. Калашникова достойно восполняет этот пробел. Она написана не только с глубоким знанием предмета (гарантией этого является высокая квалификация авторов), но и с большим педагогическим мастерством.

Книга принадлежит к числу «толстых» (672 стр.), а существует мнение, что толстые учебники успехом не пользуются. На самом деле популярностью не пользуются не толстые, а плохо (непонятно) написанные учебники. К сожалению, таких сейчас немало. Недаром П. Ландсберг, редактор прекрасного учебного пособия «Solid State Theory» (London, 1969), в предисловии к нему пишет: «Мы надеемся, что читатель получит некоторое удовольствие от чтения книги и нашего желания не приводить его в длительное замешательство при фразе „легко может быть показано“». Мне кажется, что авторам рецензируемой книги в общем удалось реализовать это пожелание.

После этих предварительных замечаний рассмотрим конкретное содержание книги.

Гл. I посвящена описанию и феноменологической теории кинетических явлений в полупроводниках: электропроводности, гальваномагнитным явлениям, термоэлектрическим и термомагнитным явлениям. Попутно дается элементарное представление о времени релаксации, дырках, смешанной проводимости и подвижности. Написана глава четко, кратко и ясно. Она является своего рода полезной аннотацией ко всей книге в целом.

В гл. II обсуждаются различные типы химической связи в полупроводниках.

В гл. III рассматривается движение электрона в идеальном периодическом поле. Читатель получает четкое представление о зонной теории, которая является в некотором смысле основой для исследования электронных свойств твердого тела. Неоправданным, с моей точки зрения, является отсутствие изложения метода почти свободных электронов, который дает наилучшее представление о зонах Бриллюэна и волновых свойствах электрона, движущегося в периодическом поле. Неудачным является термин «квазиволновой вектор»; в литературе, и это логически обоснованно, существует только «волновой вектор».

Гл. IV является в некотором смысле продолжением предыдущей. В ней исследуются электроны в идеальном кристалле во внешних полях: электрическом и магнитном. Излагается метод эффективной массы. Рассматривается электрон в квантующем магнитном поле. Изложение повсюду физичное и простое.

Довольно большая гл. V посвящена статистике электронов и дырок в полупроводниках. Изложение довольно традиционное. К достоинствам этого раздела следует отнести подробное рассмотрение многозарядных примесных ионов, поскольку этот вопрос в большинстве учебников не рассматривается.

Значительную часть книги (гл. VI — XI; примерно $\frac{1}{4}$ ее объема) занимает изложение контактных явлений и явлений, связанных с генерацией и рекомбинацией неравновесных носителей. Здесь подробно рассмотрены: статистика рекомбинации, явления, возникающие на контактах металл—полупроводник и полупроводник—полупроводник (p — n -переход, n^+ — n -переход), а также явления в приповерхностных слоях, связанные с наличием поверхностных уровней Тамма.

Детально изложена теория фотогальванических и фотемагнитных явлений. Более кратко излагаются основы теории полупроводниковых приборов — диодов, включая туннельные диоды, и транзисторов.

В целом изложение отличается физической ясностью; авторы, как правило, выбирают наиболее простые модели, позволяющие изложить основные идеи рассматриваемых явлений, избегая неоправданных усложнений. Исключение, по-моему, составляет § 8 гл. VII: амбиполярный дрейф можно объяснить проще, избегая столь громоздких формул.

В гл. XII рассматриваются малые колебания кристаллической решетки. Авторы с самого начала исследуют наиболее общий случай трехмерной сложной кристаллической решетки. Это делает главу математически более трудной, чем остальные. В то же время из начала § 1 читатель может вынести неправильное заключение, что вся изложенная далее теория применима только к кристаллам кубической симметрии. Изложение отличается большой общностью, но достаточно подробно для того, чтобы студент мог его разобрать. Исключение, может быть, представляет собой только § 5, посвященный квантовомеханическому рассмотрению колебаний решетки.

Гл. XIII и XIV посвящены кинетической теории явлений переноса и рассеянию носителей тока в неидеальной решетке. Очень хорошо выведено кинетическое уравнение; вывод, который впоследствии неоднократно ухудшался, восходит к Л. Больцману. Явления переноса рассматриваются в предположении существования времени релаксации. Последовательно и наглядно вводятся комплексные удельная электропроводность и диэлектрическая проницаемость при рассмотрении носителей тока в слабом переменном электрическом поле. При определении неравновесной функции распределения для гальваномагнитных явлений авторы допускают опisku. Уравнение (7.38) на с. 434 неверно. Из него следует линейная система однородных уравнений для величин ψ_i , из которых они, очевидно, не могут быть определены. Неправильны поэтому и выражения для отдельных слагаемых ψ_i неравновесной функции распределения (7.39, б), (7.39, в). Однако в целом изложение отличается физической четкостью и ясностью. Далее авторы с большой полнотой вычисляют время релаксации носителей тока при разнообразных механизмах рассеяния: при взаимодействии с акустическими фононами (потенциалом деформации), с оптическими фононами в гомеополярном и гетерополярном кристаллах, пьезоэлектрическими акустическими колебаниями, примесными ионами и атомами. Вычисляются в явном виде время релаксации и ее зависимость от энергии, подвижности и ее зависимость от температуры.

Гл. XV посвящена акусто-электронным явлениям, т. е. эффектам, возникающим при распространении ультразвуковой волны в полупроводнике за счет взаимодействия ее с электронами проводимости. Рассматриваются три эффекта: 1) изменение скорости звука, 2) поглощение звука и 3) возникновение электродвижущей силы в результате увлечения электронов звуковой волной. Одним из наиболее интересных вопросов, как с научной стороны, так и с точки зрения возможных применений, является генерация звука в условиях, когда дрейфовая скорость электронов превышает скорость звуковой волны (аналог явления Вавилова — Черенкова). Авторы с большим искусством и физически наглядно излагают материал, используя сравнительно небольшой математический аппарат.

Следует приветствовать то, что авторы ответили в своей книге более 30 страниц (гл. XVI) проблеме горячих электронов (сильного электрического поля). Этот вопрос, как правило, в учебниках не излагается, несмотря на то, что он интересен как с физической, так и с технической точек зрения. В книге рассматривается симметричная и антисимметричная функция распределения электронов и система кинетических уравнений для них. Утверждение авторов (с. 520), что решение этих уравнений «...весьма сложная математическая задача» и что «лишь в последние годы были развиты численные методы ее решения...» может быть неправильно понято читателем. На самом деле уже в 30-х годах Б. И. Давыдовым в Ленинградском физико-техническом институте были получены весьма эффективные аналитические решения этой задачи. Эти работы получили в последнее время всестороннее развитие.

Для полуконического обсуждения вопроса авторы пользуются уравнениями баланса. Таким образом, им удастся сравнительно просто рассмотреть вопросы о зависимости подвижности и концентрации носителей тока от напряженности поля, о дифференциальной проводимости, электрических доменах и токовых шнурах.

Гл. XVII называется: «Проблемы обоснования зонной теории и задачи, выходящие за ее рамки». Рассматривается адиабатическое приближение и метод самосогласованного поля Хартри — Фока. Изложение носит математический характер, однако наиболее сложные этапы вывода постулируются на основании наглядных соображений. Из задач, выходящих за рамки зонной теории, авторы кратко рассматривают полароны, экситоны, процессы рекомбинации.

Оптика полупроводников посвящена гл. XVIII. После изложения феноменологической теории поглощения электромагнитных волн в проводящей среде рассматриваются различные механизмы поглощения света в полупроводниках: свободными носителями и при прямых и непрямых переходах электронов зона — зона. Исследуются критические точки комбинированной плотности состояний, ответственные за немонокотное поглощение света. Приводятся необходимые вычисления, но изложение носит простой

и конструктивный характер. Авторы кратко упоминают также о полупроводниковых лазерах, электрооптике и магнитооптике.

Наконец, последняя, гл. XIX, посвящена сильно легированным полупроводникам. Эта проблема сложна и требует на самом деле применения серьезного математического аппарата, поэтому авторы ограничиваются полуколичественным описанием основных понятий и закономерностей. Рассматривается важное понятие о «хвосте» плотности состояний. Из приложений обсуждаются только межзонные оптические переходы в сильнолегированных полупроводниках.

Книга завершается 14 краткими математическими приложениями, куда вынесены более громоздкие и менее связанные с текстом вычисления.

Оценивая книгу в целом, могу только повторить, что она не только содержит обширный и интересный материал, но и написана с большим педагогическим мастерством.

Небольшое количество опечаток и опечаток легко может быть исправлено при следующем издании книги, которое, несомненно, вскоре понадобится.

А. И. Ансельм