

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

БИБЛИОГРАФИЯ

**А. Ф. Иоффе. Полупроводники в современной физике.**  
Изд. АН СССР, М.—Л., 1954, стр. 355. Ц. 17 р. 60 к. 7000 экз.

**А. Ф. Иоффе. Полупроводники.** Изд. АН СССР. Научно-популярная серия. М.—Л., 1955, стр. 94. Ц. 1 р. 45 к. 10 000 экз.

Эти книги рассчитаны на разных читателей. Первая книга — научная монография, написанная для подготовленного читателя: физика, химика, квалифицированного инженера. Вторая — научно-популярная, написанная для более широких кругов читателей, интересующихся современным развитием науки и техники.

Необходимо, прежде всего, обратить внимание на следующее обстоятельство. Автор этих книг — учёный, многие годы посвятивший всестороннему и глубокому изучению полупроводников. Академик А. Ф. Иоффе — создатель крупнейшей школы в области физики полупроводников в СССР — является автором многих понятий и представлений, ставших теперь общепринятыми в науке о полупроводниках. Исследования самого А. Ф. Иоффе и его сотрудников во многих направлениях определили развитие учения о полупроводниках и прогресс полупроводниковой техники в нашей стране.

Рецензируемые труды являются в значительной степени творческим отчётом автора о своей многолетней работе. Вместе с тем, в отличие от многих монографий такого рода, автор не ограничился изложением работ только своей школы, но охватил учение о полупроводниках в целом. Насколько известно рецензенту, по широте охвата материала и глубине изложения предмета другой подобной монографии о полупроводниках в мировой литературе не имеется.

Монография «Полупроводники в современной физике» состоит из введения и шести глав.

Во введении после очень краткого очерка основных этапов развития учения о полупроводниках автор указывает на то, что области технического применения полупроводников уже весьма значительны, и приводит 16 примеров применения полупроводников в таких областях техники, как автоматика, высокочастотная радиотехника, преобразование токов, энергетика, теплотехника, холодильная техника. С другой стороны, подчёркивается, что учение о полупроводниках является узловой проблемой физики твёрдого тела в целом. Многие вопросы как физики диэлектриков, так и физики металлов были разрешены в связи с изучением полупроводников. Отмечая, что три типа твёрдых проводников — твёрдые электролиты, металлы и электронные полупроводники — имеют много общего как в механизме прохождения тока, так и в управляющих им закономерностях, автор указывает, что полное понимание физических явлений в полупроводниках может быть достигнуто лишь при сопоставлении свойств этих трёх типов твёрдых тел. Эта идея пронизывает всю книгу и этим объяс-

няется введение в неё главы, посвящённой твёрдым электролитам, и главы, посвящённой металлам.

В главе I «Твёрдые электролиты» выясняется механизм проводимости в твёрдых электролитах. Многочисленные исследования в этой области принадлежат самому А. Ф. Иоффе и его сотрудникам, причём эти исследования относятся к раннему периоду научной деятельности автора. Здесь приводится доказательство ионной проводимости твёрдых электролитов, подробно обсуждается механизм возникновения подвижных ионов путём образования дефектов решётки по Френкелю и Шоттки, температурная зависимость электропроводности, роль искажения кристаллической решётки и примесей, химическая природа носителей тока (анионная и катионная проводимости). Вместе с тем приводятся примеры смешанной ионной и электронной проводимости. Последняя обычно появляется под действием ионизующих излучений или сильных электрических полей.

Заканчивается глава рассмотрением высоковольтной поляризации. Значение этой главы для последующего заключается в том, что многие закономерности, установленные для твёрдых электролитов, в равной степени относятся и к электрическим свойствам полупроводников. Однако в случае твёрдых электролитов физический смысл этих закономерностей может быть легче вскрыт, так как, в противоположность электронам, движение ионов не осложняется квантовомеханическими эффектами.

Глава II «Металлы» посвящена обзору современных физических представлений о природе электрического тока в металлах. Сначала приводится физическая картина движения электронов в металле и элементарный вывод формул для электропроводности, теплопроводности и соотношения Видемана Франца. Обсуждая температурную зависимость электрического сопротивления в металлах, автор указывает, что последнее (в случае чистых металлов) фактически пропорционально тепловой энергии металла —  $\int c dT$ . Далее автор обосновывает необходимость введения квантовой статистики для описания свойств системы электронов в металле и кратко излагает основы статистики Ферми-Дирака для электронов в металле. Излагается также генезис энергетических зон в металле как результат смещения расщепления и уширения уровней изолированных атомов и методы исследования энергетического спектра электронов в металле путём изучения эмиссионных рентгеновских спектров металлов. Кратко рассматриваются также искажения распределения скоростей электронов в электрическом поле, термоэлектронная эмиссия, термоэлектрические и магнитные свойства электронов в металле.

Значение этой главы заключается в том, что ряд черт, присущих системе электронов в металле, имеет место также и в системе электронов в полупроводнике. Сюда прежде всего относятся механизм рассеяния электронов на тепловых колебаниях решётки и вырождение системы электронов. Следует также отметить, что современная теория полупроводников возникла как обобщение квантовой теории металлов.

Глава III «Электронные полупроводники» содержит общий обзор свойств последних. Глава начинается со сравнения электронных полупроводников с металлами и твёрдыми электролитами. С металлами электронные полупроводники сближают то, что в обоих случаях прохождение тока связано с движением электронов, имеется общий механизм рассеяния носителей тока на тепловых колебаниях решётки. Фундаментальное отличие заключается в значительно меньшей концентрации свободных электронов в полупроводниках и самое главное в том, что концентрация свободных электронов в полупроводнике зависит от температуры, освещения и других внешних условий, тогда как в металлах концентрация свободных электронов есть величина постоянная и определяется природой металла.

С твёрдыми электролитами электронные полупроводники сходны в том отношении, что в обоих случаях носители тока освобождаются тепловыми флуктуациями. Однако природа носителей тока в электронных полупроводниках (электроны) и в твёрдых электролитах (ионы), а также механизм их движения в решётке кристалла совершенно различен. Далее, в этой главе излагаются основные свойства полупроводников и наблюдаемые закономерности: электронная и дырочная проводимости, эффект Холла, температурная зависимость электропроводности, влияние примесей на электропроводность и т. д.

Основной вывод, к которому автор приходит в этой главе, сводится к тому, что для полного понимания физических процессов, протекающих в полупроводниках, и для умения управлять ими необходимо привлечение представлений квантовой механики.

Следующая, IV глава, как раз посвящена основам квантовой теории полупроводников. Написана эта глава очень интересно и своеобразно. Здесь почти полностью опущены все математические выводы. Вместе с тем здесь даётся ясное и глубокое освещение всех вопросов современной квантовой теории полупроводников. В этой главе подробно освещаются основные понятия зонной теории, понятия эффективной массы дырки. Последние два понятия автор анализирует подробно. По мнению А. Ф. Иоффе, эти понятия имеют условный характер, так как они применимы лишь постольку, поскольку в некоторых предельных случаях закономерности движения электронов в кристаллической решётке могут быть приближённо сведены к закономерностям движения свободных электронов в вакууме. Следует, однако, отметить, что по этому вопросу нет единого мнения среди физиков. Несомненно, что дырки в полупроводниках не менее реальны, чем позитроны. Поэтому если масса дырки является условным понятием, то таким же условным понятием должна быть и масса позитрона. Во всяком случае эти принципиальные вопросы следовало бы подвергнуть широкой дискуссии на какой-нибудь научной конференции.

Далее в этой главе рассматривается применение квантовой статистики к полупроводникам, рентгеновские спектры полупроводников, механизм образования примесных уровней, поверхностные уровни И. Е. Тамма. Кратко излагаются также основные идеи теории поляронов и теории экситонов.

Заканчивается глава обзором современного состояния теории полупроводников. Здесь даётся критика зонной теории и указываются те трудности, с которыми сталкивается современная теория полупроводников. К ним относятся трудности объяснения наблюдаемой в ряде случаев температурной зависимости подвижности, трудности введения понятия длины свободного пробега в полупроводниках и ряд других вопросов.

Хотелось бы отметить, что изучение монографии А. Ф. Иоффе даёт ясное представление о том, какую большую роль играет теория в физике полупроводников и что новая полупроводниковая техника может развиваться только в тесном единстве теории и практики.

Центральное место в книге как по содержанию, так и по объёму занимает глава V «Физические явления в полупроводниках». В этой главе на основе теоретических представлений анализируются механизмы всех основных явлений в полупроводниках, важных как с точки зрения науки, так и с точки зрения использования их в технике. Материал, рассмотренный в этой главе, чрезвычайно обширен. Почти по всем разделам автор имеет собственные важные исследования. Основные разделы главы следующие: механизм рассеяния электронов и дырок, полупроводники в электрическом и магнитном полях, термоэлектричество, выход зарядов из полупроводника, электризация контактом, явления в пограничных слоях полупроводников, теплопроводность полупроводников, методы измерения основных величин, характеризующих свойства полупроводников. Остановимся на некоторых из этих разделов.

Большой интерес представляет раздел, посвящённый термоэлектричеству. Обычно эти вопросы излагаются несколько формально и за математическими выводами не видно физической сути дела. Здесь же очень детально рассматривается механизм термоэлектрических явлений. Автор связывает выделение тепла Пельтье с переносом энтропии электронами при переходе через стык двух проводников. Однако рецензенту представляется, что вопрос о том, каким образом надо подсчитывать переносимую энтропию, разработан недостаточно полно. Здесь имеются некоторые неясности. В этом же разделе изложены разработанные автором методы расчёта коэффициента полезного действия термоэлементов и теория термоэлектрических холодильников.

Кратко, но ясно написан раздел о явлениях в пограничных слоях. В этом разделе рассматриваются основные эффекты, которые имеют место на границах металла — полупроводник и полупроводник — полупроводник: выпрямление и усиление электрических токов.

В разделе «Теплопроводность полупроводников», насколько известно рецензенту, впервые в литературе систематически и всесторонне рассматривается этот важный с теоретической и практической точек зрения вопрос. Здесь содержится очень много оригинальных соображений автора, вытекающих из его собственных исследований и исследований его со-трудников.

Заканчивается глава разделом «Методы измерения основных величин, характеризующих свойства полупроводников». Рассмотрены методы измерения электропроводности, подвижности, концентрации носителей тока, эффективной массы, энергии активации, термоэдс, теплопроводность, контактный потенциал, фотопроводимость, диэлектрическая постоянная. Несмотря на сжатость изложения, в этом разделе содержится много важных указаний, и он представляет большую ценность для лиц, начинающих экспериментальные исследования в области полупроводников.

Последняя, VI глава «Опытные данные» трактует вопросы изученности полупроводниковых соединений, их классификации и даёт обзор различных классов полупроводников.

Делая общие выводы, автор приходит к заключению, что необходимо расширить и углубить изучение различных классов полупроводников. Автор приходит к убеждению, что имеется самая непосредственная корреляция между электрическими свойствами полупроводников и характером химических связей в них. Однако об этой корреляции имеются лишь отрывочные данные. Теория полупроводников также недостаточно разработана для того, чтобы служить путеводной нитью в этих вопросах.

Научно-популярный труд академика А. Ф. Иоffe «Полупроводники» состоит из введения и трёх глав.

Во введении автор указывает на важность изучения полупроводников, приводит 17 примеров практического использования полупроводников в различных областях науки и техники, а также рисует картину возможных применений их в ближайшем будущем.

Глава I «Электрические свойства полупроводников» в популярной, доходчивой форме трактует вопрос о связи электрических свойств полупроводников со строением атомов и кристаллов. Здесь даётся понятие о волновых свойствах электронов, о квантовой теории строения атомов, о природе сил, связывающих атомы в кристаллах, об образовании энергетических зон в кристаллах, о механизме движения электронов в кристаллических телах. Здесь же вводится понятие дырок и выясняется энергетический спектр полупроводников. Эта глава, как и вся книга в целом, написана простым, ясным языком и доступна всем, знакомым с элементами физики.

Главное место в книге занимает глава II — применение полупроводников в промышленности и в быту. Здесь рассмотрены все основные направления практического использования полупроводников: выпрямители

постоянного тока, фотосопротивления, фотоэлементы, люминесцентные материалы, термоэлементы, холодильники, ферриты, сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, термисторы, сильные электрические поля. По поводу каждого из этих вопросов говорится не только о том, как используются полупроводники, но и подробно описываются физические принципы действия соответствующих приборов, устройств и т. д. Эта глава с большим интересом будет прочтена теми читателями, которые изучили монографию А. Ф. Иоффе «Полупроводники в современной физике».

В главе III «Современное состояние учения о полупроводниках» — автор останавливается на вопросах, которые разрабатываются в настоящее время, и на проблемах, которые должны быть разрешены наукой в самом ближайшем будущем.

Несомненно, что рецензируемые здесь труды А. Ф. Иоффе дадут новый импульс развитию науки о полупроводниках и вдохновят многих на новые исследования в этой важной области современной физики и техники. Нам представляется, что именно к этому и стремился автор, работая над данными книгами.

*А. Г. Самойлович*